



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 197 37 840 A 1

⑯ Int. Cl. 6:
F02D 41/14
F 02 D 45/00

DE 197 37 840 A 1

⑯ Aktenzeichen: 197 37 840.4
⑯ Anmeldetag: 29. 8. 97
⑯ Offenlegungstag: 12. 3. 98

⑯ Unionspriorität:

P 8-245461 29.08.96 JP

⑯ Anmelder:

Honda Giken Kogyo K.K., Tokio/Tokyo, JP

⑯ Vertreter:

H. Weickmann und Kollegen, 81679 München

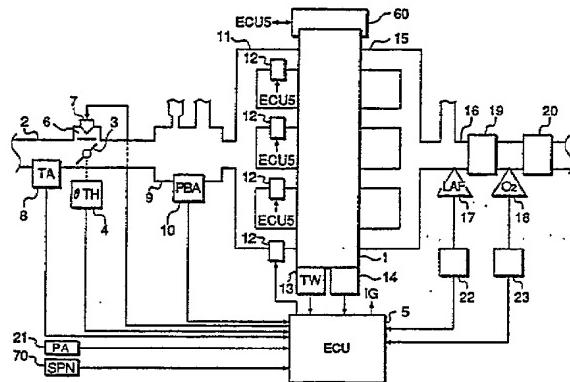
⑯ Erfinder:

Kato, Akira, Wako, Saitama, JP; Munakata, Hiroki,
Wako, Saitama, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem für Brennkraftmaschinen

⑯ Ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem für eine Brennkraftmaschine (1) mit einer Mehrzahl von Zylindern und einem Abgassystem (15, 16, 19, 20). Das Luft-Kraftstoff-Verhältnis von den Zylindern emittierten Abgasen wird durch einen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensor (17) erfaßt, welcher im Abgassystem (15, 16, 19, 20) angeordnet ist. Das Luft-Kraftstoff-Verhältnis eines jeden der Zylinder zugeführten Gemisches wird auf Grundlage einer Ausgabe vom Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensor (17) unter Verwendung einer Überwachungseinheit zum Überwachen eines internen Betriebszustands des Abgassystems (15, 16, 19, 20) mittels eines Modells geschätzt, welches ein Verhalten des Abgassystems (15, 16, 19, 20) wiedergibt. Eine Regelung einer jedem der Zylinder zuzuführenden Kraftstoffmenge wird in Antwort auf die Ausgabe vom Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensor (17) unter Verwendung eines Reglers eines Rekursionsformeltyps durchgeführt, so daß das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des jedem der Zylinder zugeführten Gemisches sich einem Sollwert nähert. Der Regler des Rekursionsformeltyps stellt Adaptivparameter zur Verwendung in der Regelung ein für jeden der Zylinder auf der Grundlage des geschätzten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses.



DE 197 37 840 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01. 98 702 071/731

39/23

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

5

Fachgebiet der Erfindung

Diese Erfindung bezieht sich auf ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem für Brennkraftmaschinen und insbesondere auf ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem der Art, welches das Luft-Kraftstoff-Verhältnis eines der Maschine zugeführten Gemisches durch Verwendung einer darauf adaptierbaren Regelungstheorie rückkopplungartig regelt.

Stand der Technik

15 Herkömmlicherweise wurde ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem für Brennkraftmaschinen auf der Grundlage einer adaptierbaren Regelungstheorie vorgeschlagen, beispielsweise in der offengelegten japanischen Patentveröffentlichung (Kokai) Nr. 7-247886. Dieses berechnet einen Adaptiv-Regelungskorrekturkoeffizienten in Antwort auf eine Ausgabe von einem in einem Abgassystem der Maschine angeordneten Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensor unter Verwendung einer mit einem Parameter-Einstellmechanismus eines Rekursionsformeltyps versehenen Adaptiv-Regeleinheit, um dadurch die Menge des der Maschine zugeführten Kraftstoffs zu korrigieren, um rückgekoppelt das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des der Maschine zugeführten Gemisches zu regeln.

20 Allerdings wird im herkömmlichen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem der Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizient gemeinsam für alle Zylinder verwendet, so daß es unmöglich ist, die Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Regelung in einer Weise durchzuführen, die den verschiedenen Eigenschaftsunterschieden zwischen den Zylindern angepaßt ist. Wenn der Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizient zum Vermeiden des oben genannten ungünstigen Zustands jeweils zylinderweise festgelegt wird, tritt allerdings aufgrund der Tatsache, daß ein Ausgabesignal des an einem Zusammenflußteil des Abgassystems der Maschine angeordneten Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensors die Eingabe für den Parameter-Einstellmechanismus zur Einstellung von Adaptivparametern ist, folgendes Problem auf:

25 Einzelne mittels des Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystems zu steuernde/regelnde Zylinder sind in ihren Betriebeigenschaften deutlich voneinander unterschiedlich. Deshalb sind dann, wenn die Adaptivparameter auf Grundlage des Ausgabesignals des Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensors eingestellt werden, die Unterschiede der Eigenschaften zwischen den Zylindern nicht passend in den Adaptivparametern wiedergegeben. Deshalb bleibt das herkömmliche Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem im Hinblick auf 30 die Steuerungsfähigkeit/Regelungsfähigkeit des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses verbesserungsbedürftig.

Abriß der Erfindung

40 Es ist ein Ziel der Erfindung, ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem für eine Brennkraftmaschine bereitzustellen, welches dazu ausgelegt ist, passende Adaptivparameter einer Adaptiv-Regeleinheit zu berechnen, um dadurch eine verbesserte Steuerbarkeit/Regelbarkeit des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses eines der Maschine zugeführten Gemisches zu erreichen.

45 Um das oben genannte Ziel zu erreichen stellt die Erfindung eine Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem für eine Brennkraftmaschine bereit, welche eine Mehrzahl von Zylindern und ein Abgassystem aufweist, wobei das Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem umfaßt:

50 — im Abgassystem angeordnete Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Erfassungsmittel zum Erfassen eines Luft-Kraftstoff-Verhältnisses von den Zylindern abgegebenen Abgasen;

55 — zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Schätzmittel zum Schätzen eines Luft-Kraftstoff-Verhältnisses des jedem der Zylinder zugeführten Gemisches auf der Grundlage einer Ausgabe von den Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Erfassungsmitteln unter Verwendung von Überwachungsmitteln zur Überwachung eines internen Betriebszustandes des Abgassystems mittels eines Modells, welches das Verhalten des Abgassystems wiedergibt; und

55 — Regelungsmittel zum Durchführen einer Regelung einer jedem Zylinder in Antwort auf die Ausgabe vom Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Erfassungsmittel zuzuführenden Kraftstoffmenge unter Verwendung einer Rekursionsformeltyp-Steuer-/Regeleinheit, derart, daß das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des jedem der Zylinder zugeführten Gemisches einem gewünschten Wert angenähert wird.

60 Das erfindungsgemäße Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem ist dadurch gekennzeichnet, daß die Rekursionsformeltyp-Regeleinheit Parameter-Einstellmittel zum Einstellen von Adaptivparametern zur Verwendung in der Regelung aufweist, wobei die Parameter-Einstellmittel die Adaptivparameter für jeden der Zylinder auf Grundlage des durch die zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Schätzmittel geschätzten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses einstellt.

65 Bevorzugt berechnet die Rekursionsformeltyp-Regeleinheit einen Adaptiv-Korrekturkoeffizienten als eine Regelgröße der Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses für jeden der Zylinder in Antwort auf das durch die zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Schätzmittel geschätzten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses, wobei die Parameter-Einstellmittel die Adaptivparameter für jeden der Zylinder auf Grundlage des durch die zylinderweise

Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Schätzmittel und den für jeden der Zylinder durch die Steuer-/Regeleinheit berechneten Korrekturkoeffizienten und nach Maßgabe des durch die zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Schätzmittel geschätzten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses.

In einer bevorzugten Ausführungsform berechnen die Regelungsmittel den Sollwert des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses des Gemisches für jeden der Zylinder und führen die Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses des jeden der Zylinder zugeführten Gemisches unter Verwendung des berechneten Sollwertes zusammen mit dem durch das zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Schätzmittel nach Maßgabe des Sollwerts geschätzten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses durch. 5

Bevorzugt schätzen die zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Schätzmittel das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des jedem der Zylinder zugeführten Gemisches unter Verwendung einer Ansprechverzögerungs-Zeitkonstanten der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Erfassungsmittel. 10

In einer Weiterbildung der Erfahrung weist die Maschine einen Einlaßkanal auf, wobei das Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem im Einlaßkanal angeordnete Druck-Erfassungsmittel zum Erfassen des Drucks innerhalb des Einlaßkanals und Maschinendrehzahl-Erfassungsmittel zum Erfassen der Maschinendrehzahl umfaßt, und wobei die Zeitkonstante nach Maßgabe der Maschinendrehzahl und des Drucks innerhalb des Einlaßkanals festgelegt wird. 15

Bevorzugt umfaßt das Luft-Kraftstoff-Steuerungs-/Regelungssystem zweite Regelungsmittel zum Regeln der jedem der Zylinder zugeführten Kraftstoffmenge in einer Rückkopplungsweise, in Antwort auf die Ausgabe von den Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Erfassungsmitteln mit einer Ansprechgeschwindigkeit, welche geringer ist als eine Ansprechgeschwindigkeit der Regelungsmittel zum Durchführen der Regelung unter Verwendung der Rekursionsformeltyp-Regeleinheit, in einer derartigen Weise, daß das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des jedem der Zylinder zugeführten Gemisches einem Sollwert angenähert wird, und Wahlmittel zum Auswählen eines der Regelungsmittel zum Durchführen der Regelung unter Verwendung der Rekursionsformeltyp-Regeleinheit und des zweiten Regelungsmittels in Abhängigkeit von Betriebsbedingungen der Maschine. 20

Die oben genannten und andere Ziele, Merkmale und Vorteile der Erfahrung werden aus der folgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen besser ersichtlich. 25

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ist ein Blockdiagramm, welches die Anordnung einer mit einem Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem zusammenwirkende Brennkraftmaschine gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfahrung zeigt; 30

Fig. 2 ist ein Blockdiagramm zur Erklärung der Funktionen des Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystems und einer Art und Weise der Steuerung/Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses eines der Maschine zugeführten Gemisches; 35

Fig. 3 ist ein Flußdiagramm, welches eine Routine zur Berechnung eines PID-Korrekturkoeffizienten KLAf und eines zylinderweise Korrekturkoeffizienten KOBSV # N in Antwort auf eine Ausgabe vom in Fig. 1 dargestellten LAF-Sensor zeigt;

Fig. 4 zeigt ein Flußdiagramm einer in einem Schritt S6 in Fig. 3 ausgeführten Unteroutine zur Bestimmung, ob die Maschine in einem LAF-Regelungsbereich arbeitet; 40

Fig. 5 zeigt ein Blockdiagramm eines Modells, das ein Verhalten des Abgassystems der Maschine wiedergibt;

Fig. 6 zeigt ein Blockdiagramm des Aufbaus einer Überwachungseinheit gemäß dem Ausführungsbeispiel;

Fig. 7 zeigt ein Diagramm einer Tabelle zum Festsetzen einer Verzögerungszeitkonstante, die eine Ansprechverzögerungszeit des LAF-Sensors wiedergibt;

Fig. 8 ist ein Blockdiagramm zur Erklärung, wie die Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Regelung/Steuerung zylinderweise ausgeführt wird; 45

Fig. 9 zeigt ein Flußdiagramm einer in einem Schritt S9 in Fig. 3 ausgeführten Unteroutine zur Berechnung des zylinderweise Korrekturkoeffizienten KOBSV # N;

Fig. 10 zeigt ein Flußdiagramm einer in einem Schritt S336 in Fig. 9 ausgeführten Unteroutine zur Abschätzung eines zylinderweisen Luft-Kraftstoff-Verhältnisses; 50

Fig. 11 ist ein Diagramm zur Erläuterung eines zylinderweisen Regelungsbereichs;

Fig. 12 zeigt ein Flußdiagramm einer in einem Schritt S8 in Fig. 3 ausgeführten Unteroutine zur Berechnung des PID-Korrekturkoeffizienten KLAf;

Fig. 13 ist ein Blockdiagramm zur Erklärung einer Berechnungsweise eines Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten KSTR; 55

Fig. 14 zeigt ein Flußdiagramm einer in einem Schritt S10 in Fig. 3 ausgeführten Unteroutine zur Berechnung eines Rückkopplungs-Korrekturkoeffizienten KFB;

Fig. 15 zeigt ein Flußdiagramm einer in einem Schritt S406 in Fig. 14 ausgeführten Unteroutine zum Auswählen der Ansprechgeschwindigkeit der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Rückkopplungs-Regelung;

Fig. 16 ist die Fortsetzung des Flußdiagramms aus Fig. 15; 60

Fig. 17 zeigt ein Flußdiagramm einer in einem Schritt S408 in Fig. 14 ausgeführten Unteroutine zum Ausführen einer hochansprechenden Regelung gemäß der vorliegenden Erfahrung; und

Fig. 18 zeigt ein Flußdiagramm einer in einem Schritt S411 in Fig. 14 ausgeführten Unteroutine zum Ausführen einer schwach ansprechenden Regelung gemäß der vorliegenden Erfahrung. 65

Detaillierte Beschreibung

Die Erfahrung wird nun im Detail mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben, welche ein Ausführungsbeispiel

derselben zeigen.

Zuerst wird auf Fig. 1 Bezug genommen, wo die gesamte Anordnung einer DOHC-Vier-Zylinder-Reihen-Brennkraftmaschine (nachfolgend einfach als "die Maschine" bezeichnet) und eines Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystems dafür, gemäß einer Ausführungsform der Erfindung gezeigt ist. In der Figur bezeichnet Bezugszeichen 1 die Maschine.

Die Maschine 1 hat ein Ansaugrohr 2 mit einem Krümmerteil (Einlaßkrümmer) 11, welches direkt an die Verbrennungskammer jeden Zylinders angeschlossen ist. Ein Drosselventil 3 ist im Einlaßrohr 2 an einer Stelle stromaufwärts des Krümmerteils 11 angeordnet. Ein Drosselventilöffnungs(6TH)-Sensor 4 ist mit dem Drosselventil 3 zur Erzeugung eines elektrischen Signals verbunden, welches die erfaßte Drosselventilöffnung OTH wiedergibt und diese einer elektronischen Steuer-/Regeleinheit zuführt (nachfolgend als "die ECU" bezeichnet).

Das Einlaßrohr 2 ist mit einem Hilfsluftdurchlaß 6 versehen, welcher das Drosselventil 3 umgeht, und ein Hilfsluftmengen-Steuerungs-/Regelungsventil (elektromagnetisches Ventil) 7 ist im Hilfsluftdurchlaß 6 angeordnet. Das Hilfsluftmengen-Steuerungs-/Regelungsventil 7 ist elektrisch mit der ECU 5 verbunden, um einen durch ein Signal von dieser gesteuerten Öffnungsgrad anzunehmen.

Ein Einlaßlufttemperatur(TA)-Sensor 8 ist in das Einlaßrohr 2 an einer Stelle stromaufwärts des Drosselventils 3 zum Zuführen eines elektrischen Signals zur ECU 5 eingesetzt, welches die erfaßte Einlaßluft-Temperatur TA wiedergibt. Das Einlaßrohr 2 hat einen verdickten Abschnitt 9 als eine zwischen dem Drosselventil 3 und dem Einlaßkrümmer 11 angeordnete Kammer. Ein Einlaßrohr-Absolutdruck (PBA)-Sensor 10 ist in der Kammer 9 zum Zuführen eines Signals zur ECU 5 angeordnet, welches den erfaßten Einlaßrohr-Absolutdruck PBA wieder-gibt.

Ein Maschinen-Kühlmittel-Temperatur(TW)-Sensor 13, welcher als Thermistor oder dergleichen ausgebildet sein kann, ist in dem mit einem Maschinenkühlmittel gefüllten Zylinderblock der Maschine 1 zum Zuführen eines elektrischen Signals zur ECU 5 angebracht, welches die erfaßte Maschinen-Kühlmittel-Temperatur TW wieder-gibt. Ein Kurbelwinkelpositionssensor 14 zur Erfassung des Drehwinkels einer nicht gezeigten Kurbelwelle der Maschine 1 ist elektrisch mit der ECU 5 zum Zuführen von Signalen zur ECU 5 verbunden, welche dem Drehwinkel der Kurbelwelle entsprechen. Der Kurbelwinkelpositionssensor 14 ist aus einem Zylinderunter-scheidungssensor, welcher einen Impuls (nachfolgend als "der CYL-Signalimpuls" bezeichnet) bei einer vorbe-stimmten Kurbelwinkelposition eines bestimmten Zylinders der Maschine 1 vor einer TDC-Position des Zylind-ers entsprechend dem Start des Ansaughubs des Zylinders erzeugt, einem TDC-Sensor, welcher einen Impuls (nachfolgend als "der TDC-Signalimpuls" bezeichnet) bei einer vorbestimmten Kurbelwinkelposition jedes Zylinders bei einem vorbestimmten Winkel vor der TDC-Position erzeugt (im Falle einer Vierzylindermaschine immer dann, wenn sich die Kurbelwelle um 180° dreht), und einen CRK-Sensor gebildet, welcher einen Impuls (nachfolgend als "der CRK-Signalimpuls" bezeichnet) bei jeder von vorbestimmten Kurbelwinkelpositionen erzeugt, immer dann, wenn die Kurbelwelle sich über einen vorbestimmten Winkel (beispielsweise 30°) dreht, der kleiner als das Drehwinkelintervall der Erzeugung des TDC-Signalimpulses ist. Der CYL-Signalimpuls, der TDC-Signalimpuls und der CRK-Signalimpuls werden der ECU 5 zugeführt. Diese Signalimpulse werden zur Zeitsteuerung bei der Durchführung der Operationen des Steuerungs-/Regelungssystems zur Bestimmung der Kraftstoffeinspritz-Zeitsteuerung, Zündzeitsteuerung usw. ebenso zur Erfassung der Maschinendrehzahl NE verwendet.

Kraftstoffeinspritzventile 12 für jeweilige Zylinder sind in den Einlaßkrümmer 11 an Orten geringfügig stromaufwärts der nicht gezeigten Einlaßventile der jeweiligen Zylinder eingesetzt. Die Kraftstoffeinlaßventile 12 sind mit einer nicht gezeigten Kraftstoffpumpe und elektrisch mit der ECU 5 verbunden, um deren Ventilöff-nungs-Zeiträume (Kraftstoffeinspritz-Zeiträume) und Kraftstoffeinspritz-Zeitsteuerung durch Signale von dieser steuern/regeln zu lassen. Die Maschine 1 hat nicht dargestellte Zündkerzen, welche für die jeweiligen Zylinder vorgesehen sind und elektrisch mit der ECU verbunden sind, um die Zündzeitsteuerung ØIG derselben durch Signale von dieser steuern/regeln zu lassen.

Ein Auslaßrohr 16 der Maschine hat ein Krümmerteil (Auslaßkrümmer) 15, welches direkt mit den Verbrennungskammern der Zylinder der Maschine 1 verbunden ist. Ein Linearausgabe-Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sen-sor (nachfolgend als "der LAF-Sensor" bezeichnet) 17 ist in einem Zusammenflußteil des Abgasrohrs 16 an einer Stelle unmittelbar stromabwärts des Abgaskrümmers 15 angeordnet. Ferner sind ein erster Dreiwegekatalysator (unmittelbar stromabwärts Dreiwegekatalysator) 19 und ein zweiter Dreiwegekatalysator (weiter strom-abwärts Dreiwegekatalysator) 20 im Zusammenflußteil des Auslaßrohrs 16 an Stellen stromabwärts des LAF-Sensors 17 zum Reinigen giftiger Komponenten angeordnet, wie beispielsweise HC, CO und NOx. Ein Sauerstoffkonzentrationssensor (nachfolgend als "der O2-Sensor" bezeichnet) 18 ist zwischen den Dreiwegeka-talysatoren 19 und 20 angeordnet.

Als der Linearausgabe-Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 14 ist ein LAF-Sensor eingesetzt, wie er beispiels-weise in der vom vorliegenden Anmelder eingereichte japanische offengelegte Patentveröffentlichung (Kokai) Nr. 2-11842 offenbart ist. Der LAF-Sensor 17 hat eine Breitbandausgabe-Charakteristik, so daß sich dessen Ausgabe linear mit der Sauerstoffkonzentration in den Abgasen der Maschine 1 ändert.

Der LAF-Sensor 17 ist elektrisch über einen Tiefpaßfilter 22 mit der ECU 5 verbunden, um die ECU 5 mit einem im wesentlichen dem Wert der Sauerstoffkonzentration der Maschinenabgase (d. h. das Luft-Kraftstoff-Verhältnis) proportionalen elektrischen Signal zu versorgen. Der O2-Sensor 18 hat eine derartige Ausgabecharak-teristik, daß sich seine Ausgangsspannung stark ändert, wenn sich das Luft-Kraftstoff-Verhältnis eines der Maschine zugeführten Gemisches über ein stöchiometrisches Luft-Kraftstoff-Verhältnis ändert, um ein hochpe-geliges Signal auszugeben, wenn das Gemisch reicher als das stöchiometrische Luft-Kraftstoff-Verhältnis ist, und ein niederpegeliges Signal auszugeben, wenn das Verhältnis geringer als selbiges ist. Der O2-Sensor 18 ist elektrisch über einen Tiefpaßfilter 23 mit der ECU 5 verbunden, um der ECU 5 das hoch- oder niederpegelige Signal zuzuführen.

Zwischen der Maschine 1 und den nicht dargestellten Rädern eines Fahrzeugs, in welches die Maschine 1 eingebaut ist, befindet sich ein nicht dargestelltes Automatikgetriebe zur Übertragung eines durch die Maschine 1 erzeugten Drehmoments zum Fahrzeug. Das Automatikgetriebe umfaßt eine Fluidkupplung usw. Durch Betätigung eines nicht gezeigten Schalthebels kann die Gangschaltposition in einen P-Bereich, einen N-Bereich oder einen D-Bereich gewechselt werden.

Das Automatikgetriebe hat einen Schaltpositionssensor (SPN) 70 zum Erfassen der Gangschaltposition, und ein die erfaßte Schaltposition wiedergebendes elektrisches Signal wird der ECU 5 zugeführt.

Die Räder des Fahrzeugs sind mit nicht gezeigten Radgeschwindigkeitssensoren zum Erfassen von Drehzahlen von Antriebsrädern und Laufräder versehen. Die erfaßten Raddrehzahlen wiedergebende elektrische Signale, werden der ECU 5 zugeführt. Die ECU 5 bestimmt auf Grundlage der erfaßten Drehzahlen der Antriebs- und Laufräder, ob die Antriebsräder in einem übermäßigen Schlupfzustand sind oder nicht. Wenn ein übermäßiger Schlupfzustand der Antriebsräder erfaßt wird, führt die ECU 5 eine Traktionssteuerung/-regelung durch, indem sie das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des der Maschine zugeführten Gemisches magerer macht oder die Kraftstoffzufuhr zu einem Teil der Zylinder unterbricht oder indem sie die Zündzeitsteuerung weiter verzögert.

Die Maschine 1 umfaßt einen Ventilzeitsteuerungs-Wechselmechanismus 60, welcher die Ventilzeitsteuerung der Einlaßventile und Auslaßventile oder wenigstens der Einlaßventile allein zwischen einer Hochgeschwindigkeits-Ventilzeitsteuerung, welche für einen Hochgeschwindigkeits-Betriebsbereich der Maschine geeignet ist und einer Niedriggeschwindigkeits-Ventilzeitsteuerung wechselt, welche für einen Niedriggeschwindigkeits-Betriebsbereich derselben geeignet ist. Das Wechseln der Ventilzeitsteuerung umfaßt nicht nur die Zeitsteuerung des Öffnen und Schließen der Ventile, sondern auch das Wechseln der Ventilhubhöhe. Ferner wird dann, wenn die Niedriggeschwindigkeits-Ventilzeitsteuerung gewählt wurde, eines der zwei Einlaßventile unwirksam gemacht, wodurch eine stabile Verbrennung innerhalb der Verbrennungskammer sichergestellt wird, selbst wenn das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des Gemisches auf einen magereren Wert als das stöchiometrische Luft-Kraftstoff-Verhältnis geregelt wird.

Der Ventilzeitsteuerungs-Wechselmechanismus 60 führt einen Wechsel der Ventilzeitsteuerung durch Wechseln des Hydraulikdrucks zum Betrieb des Ventils durch, und umfaßt ein elektromagnetisches Ventil und einen Öldrucksensor, von denen keiner gezeigt ist, welche zusammenwirken, um das Wechseln des Hydraulikdrucks zu bewirken. Ein Signal vom Öldrucksensor wird der ECU 5 zugeführt, und die ECU 5 steuert/regelt den Betrieb des elektromagnetischen Ventils, um einen Wechsel der Ventilzeitsteuerung zu bewirken.

Ein Atmosphärendruck(PA)-Sensor 21 ist elektrisch mit der ECU 5 zum Erfassen eines atmosphärischen Drucks PA und zum Zuführen eines den erfaßten atmosphärischen Druck PA wiedergebenden Signals zur ECU 5 verbunden.

Die ECU 5 umfaßt einen Ausgabeschaltkreis mit den Funktionen der Formgebung (Entzerrung) der Wellenformen von Eingabesignalen verschiedener Sensoren, Verschieben der Spannungspiegel von Sensorausgabesignalen auf einen vorbestimmten Pegel, Umwandeln analoger Signale von Analogausgabesensor in digitale Signale usw. eine zentrale Verarbeitungseinheit (nachfolgend als "die CPU" bezeichnet), eine aus einem ROM gebildete Speichervorrichtung, welche verschiedene von der CPU ausgeführte Betriebsprogramme und verschiedene Karten und Tabellen, auf die nachfolgend Bezug genommen wird, speichert und einen RAM zum Speichern von Berechnungsergebnissen der CPU usw. und einen Ausgabeschaltkreis, welcher Antriebssignale zu den Kraftstoffeinspritzventilen 12 und anderen elektromagnetischen Ventilen, den Zündkerzen usw. ausgibt.

Die ECU 5 arbeitet in Antwort auf die oben genannten Signale der Sensoren umfassend den LAF-Sensor 17 und den O2-Sensor 18, um verschiedene Betriebsbedingungen zu bestimmen, unter welchen die Maschine arbeitet, wie beispielsweise einen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Regelungsbereich, in welchem das Luft-Kraftstoff-Verhältnis in Antwort auf die Ausgaben vom LAF-Sensor 17 und vom O2-Sensor 18 geregelt wird, und Offen-Schleifen-Steuerungsbereiche, welche andere sind als die Regelungsbereiche. Ferner berechnet die ECU 5 auf Grundlage der bestimmten Betriebsbedingungen den Ventilöffnungszeitraum oder Kraftstoffeinspritz-Zeitraum TOUT, über welchen die Kraftstoff-Einspritzventile 12 zu öffnen sind, unter Verwendung der folgenden Gleichung (1) gleichzeitig unter Eingabe von TDC-Signalimpulsen zur ECU 5, um Antriebssignale zu den Kraftstoffeinspritzventilen 12 auszugeben, welche auf den Ergebnissen der Berechnung basieren:

$$TOUT(N) = TIMF \times KTOTAL \times KCMDM \times KFB \times KOBSV \# N \quad (1)$$

Die Symbole der Gleichung (1) werden in der folgenden Beschreibung von Fig. 2 erklärt.

Fig. 2 zeigt ein Blockdiagramm, welches dazu geeignet ist, eine Art und Weise der Berechnung des Kraftstoffeinspritz-Zeitraums TOUT (N) unter Verwendung der Gleichung (1) zu erklären. Mit Bezug auf die Figur wird ein Plan der Berechnungsweise des Kraftstoffeinspritz-Zeitraums TOUT (N) gemäß der vorliegenden Erfindung beschrieben werden. Das Suffix (N) repräsentiert eine Zylinderzahl, und es wird ein Parameter mit diesem Suffix zylinderweise berechnet. Es sollte erwähnt werden, daß im vorliegenden Ausführungsbeispiel die der Maschine zuzuführende Kraftstoffmenge tatsächlich in Form eines Zeitraums berechnet wird, über welchen das Kraftstoffeinspritzventil 12 geöffnet ist (Kraftstoffeinspritz-Zeitraum), jedoch ist in der vorliegenden Beschreibung der Kraftstoffeinspritzzeitraum (TOUT(N)) als die Kraftstoffeinspritzmenge oder die Kraftstoffmenge bezeichnet, da der Kraftstoffeinspritz-Zeitraum gleich der eingespritzten oder einzuspritzenden Kraftstoffmenge ist.

In Fig. 2 berechnet ein Block B1 eine Grundkraftstoffmenge TIMF entsprechend einer Einlaßluftmenge. Die Grundkraftstoffmenge TIMF ist grundsätzlich nach Maßgabe der Maschinendrehzahl NE und des Einlaßrohrabsolutdrucks PBA festgesetzt. Allerdings ist es bevorzugt, daß ein Modell, welches einen Teil des sich vom Drosselventil 3 bis zu den Verbrennungskammern der Maschine 1 erstreckenden Einlaßsystems wiedergibt, im voraus vorbereitet wird, und eine Korrektur der Grundkraftstoffmenge TIMF in Abhängigkeit von einer auf

Grundlage des Modells erhaltenen Verzögerung des Einlaßluftstroms durchgeführt wird. Bei dem bevorzugten Verfahren werden die Drosselventilöffnung ØTH und der atmosphärische Druck PA ebenfalls als zusätzliche Parameter verwendet, welche die Betriebsbedingungen der Maschine wiedergeben.

Die Bezugssymbole B2 bis B8 bezeichnen Multiplizierblöcke, welche jeweils die Grundkraftstoffmenge TIMF mit in diese eingehenden Parameterwerten multiplizieren und die Produktwerte ausgeben. Diese Blöcke führen die arithmetischen Operationen aus Gleichung (1) aus und geben diese von den Multiplizierblöcken B5 bis B8 aus, um Kraftstofffeinspritzmengen TOUT(N) für die jeweiligen Zylinder vorzusehen.

Ein Block B9 multipliziert alle Vorwärts-Korrekturkoeffizienten miteinander, wie beispielsweise einen Maschinen-Kühlmittel-Temperatur-abhängigen Korrekturkoeffizienten KTW, welcher nach Maßgabe der Maschinen-Kühlmittel-Temperatur TW festgesetzt wird, einen EGR-abhängigen Korrekturkoeffizienten KEGR, welcher nach Maßgabe der Menge von während der Durchführung einer Abgasrückführung rückströmenden Abgasen berechnet wird, und einen spülabhängigen Korrekturkoeffizienten KPUG, welcher nach Maßgabe der Menge von während der Durchführung des Spülens von verdampftem Kraftstoff durch ein nicht gezeigtes Verdampfungsemissions-Regelungs/Steuerungssystem gespültem Kraftstoff festgesetzt wird, um den Korrekturkoeffizienten KTOTAL zu erhalten, welcher dem Block B2 zugeführt wird.

Ein Block B21 bestimmt einen Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Koeffizienten KCMD auf der Grundlage der Maschinendrehzahl NE, des Einlaßrohrsabsolutdrucks PBA usw. und führt diesen einem Block B22 zu. Der Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Koeffizient KCMD ist direkt proportional zum reziproken Wert des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses A/F, d. h. zum Kraftstoff-Luft-Verhältnis F/A, und nimmt einen Wert von 1,0 an, wenn er gleich dem stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnis ist. Aus diesem Grund wird also dieser Koeffizient KCMD als Solläquivalenzverhältnis bezeichnet. Der Block B22 korrigiert den Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Koeffizienten KCMD auf Grundlage der Ausgabe VMO2 vom O2-Sensor 18, welche über den Tiefpaßfilter 23 zugeführt wird, und gibt den korrigierten KCMD-Wert an einen Block B18, einen Block B19 und den Block B23 aus. Der Block B23 führt die Kraftstoffkühlungs-abhängige Korrektur des korrigierten KCMD-Wert aus, um einen abschließenden Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Koeffizienten KCMDM zu berechnen und führt selbigen dem Block B3 zu.

Ein Block B10 tastet die Ausgabe vom LAF-Sensor 17 ab, welcher über den Tiefpaßfilter 22 mit einem Abtastzeitraum synchron zur Erzeugung jedes CRK-Signalimpulses versorgt wird, speichert die abgetasteten Werte nacheinander in einem nicht gezeigten Ringpufferspeicher und wählt einen der gespeicherten Werte in Abhängigkeit von Betriebsbedingungen der Maschine (LAF-Sensorausgabeauswahl-Verarbeitung) aus, welche für die optimale Zeitsteuerung für jeden Zylinder abgetastet wurden, um den ausgewählten Wert direkt einem Block B11 und dem Block B18 und dem Block B19 über Tiefpaßfilterblöcke B16 und B17 zuzuführen. Die LAF-Sensorausgabeauswahl-Verarbeitung bereitigt ungünstige Zustände, wie beispielsweise daß das sich dauernd ändernde Luft-Kraftstoff-Verhältnis nicht genau in Abhängigkeit von der Zeitsteuerung des Abtastens der Ausgabe vom LAF-Sensor erfaßt werden kann, daß eine Zeitverzögerung existiert bevor von der Verbrennungskammer abgegebene Abgase den LAF-Sensor 17 erreichen, und daß sich die Ansprechzeit des LAF-Sensors per se in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen der Maschine ändert.

Der Block B11 mit der Funktion einer sogenannten Überwachungseinheit setzt einen Wert des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses gesondert für jeden Zylinder aus dem Luft-Kraftstoff-Verhältnis, welches an dem Zusammenflußteil des Abgassystems vom LAF-Sensor 17 (aus einem Gemisch aus von den Zylindern abgegebenen Abgasen) erfaßt wurde, und führt den Schätzwert einem entsprechenden der jeweils den vier Zylindern zugeordneten Blöcke B12 bis B15 und dem Block B19 zu. In Fig. 2 entspricht der Block B12 dem Zylinder #1, der Block B13 einem Zylinder #2, der Block B14 einem Zylinder #3 und der Block B15 einem Zylinder #4. Die Blöcke B12 bis B15 berechnen jeweils zylinderweise Korrekturkoeffizienten KOSV # N (N = 1 bis 4) über die PID-Regelung, so daß das Luft-Kraftstoff-Verhältnis jedes Zylinders (der durch die Überwachungseinheit B11 für jeden Zylinder geschätzte Wert des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses) gleich einem Wert des am Zusammenflußteil erfaßten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses wird und führt die berechneten Werte jeweils den Blöcken B5 bis B8 zu.

Der Block B18 berechnet einen PID-Korrekturkoeffizienten KLAf über die PID-Regelung auf Grundlage der Differenz zwischen dem Ist-Luft-Kraftstoff-Verhältnis und dem Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis und gibt den berechneten KLAf-Wert dem Block B20 aus. Der Block B19 berechnet einen Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten KSTR über eine Adaptiv-Regelung (selbstinstellende Regulierung) auf Grundlage des durch den LAF-Sensor erfaßten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses und des zylinderweise durch den Überwachungseinheitsblock B11 geschätzten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses und gibt den berechneten KSTR-Wert an den Block B20 aus. Der Grund für den Einsatz der Adaptiv-Regelung ist der folgende: Wenn die Grundkraftstoffmenge TIMF lediglich mit dem Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Koeffizienten KCMD (KCMDM) multipliziert wird, kann das resultierende Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis und damit das erfaßte Luft-Kraftstoff-Verhältnis aufgrund einer Ansprechverzögerung der Maschine geschwächt werden. Die Adaptiv-Regelung wird eingesetzt, um dynamisch die Ansprechverzögerung der Maschine zu kompensieren, um dadurch die Stärke der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Regelung gegenüber externen Störungen zu verbessern.

Der Block B20 wählt entweder den PID-Korrekturkoeffizienten KLAf oder den Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten KSTR, welche diesem zugeführt werden, in Abhängigkeit von Betriebsbedingungen der Maschine aus und gibt den ausgewählten Korrekturkoeffizienten als Rückkopplungs-Korrekturkoeffizient KFB an den Block B4 aus. Diese Auswahl ist auf die Tatsache gestützt, daß die Verwendung des durch die gewöhnliche PID-Regelung berechneten Korrekturkoeffizienten KLAf für die Berechnung des TOUT-Werts besser geeignet sein kann als der Korrekturkoeffizient KSTR, welcher von den Betriebsbedingungen der Maschine abhängt.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird, wie oben beschrieben, entweder der PID-Korrekturkoeffizient KLAf, welcher durch die gewöhnliche PID-Regelung in Antwort auf die Ausgabe vom LAF-Sensor 17 berechnet wurde, oder der Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizient KSTR, welcher durch die Adaptiv-Regelung

berechnet wurde, wahlweise als Rückkopplungs-Korrekturkoeffizient KFB in die Gleichung (1) eingesetzt, um die Kraftstoffeinspritzmenge TOUT zu berechnen. Wenn der Korrekturkoeffizient KSTR eingesetzt wird, kann die Ansprechempfindlichkeit der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerung/Regelung, welche angelegt wird, wenn das Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis geändert wird oder das Ist-Luft-Kraftstoff-Verhältnis geändert wird, und die Stärke der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerung/Regelung gegen externe Störungen verbessert werden, und damit kann die Reinigungsrate der Katalysatoren verbessert werden, um ausgezeichnete Abgasemissions-Charakteristika der Maschine bei verschiedenen Maschinen-Betriebsbedingungen sicherzustellen. Ferner wird der zylinderweise Korrekturkoeffizient KOBSV # N, welcher nach Maßgabe des auf Grundlage der Ausgabe vom LAF-Sensor 17 geschätzten Luft-Kraftstoff-Verhältniswertes von jedem Zylinder festgesetzt wird, ebenso in Gleichung (1) eingesetzt, um die zylinderweise Kraftstoffeinspritzmenge TOUT (N) zu berechnen. Änderungen des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses unter den Zylindern können durch das Verwenden des zylinderweise Korrekturkoeffizienten KOBSV # N beseitigt werden, um dadurch die Reinigungseffektivität der Katalysatoren zu verbessern und damit ausgezeichnete Abgasemissions-Charakteristika der Maschine bei verschiedenen Betriebsbedingungen zu erhalten. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel werden die Funktionen der in Fig. 2 gezeigten Blöcke durch arithmetische Operationen realisiert, welche von der CPU der ECU 5 ausgeführt werden, und Details der Operationen werden mit Bezug auf die in den Zeichnungen dargestellten Programmrountinen beschrieben.

Fig. 3 zeigt eine Routine zur Berechnung des PID-Korrekturkoeffizienten KLAf, des Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten KSTR, und schließlich des Rückkopplungs-Korrekturkoeffizienten KFB nach Maßgabe der Ausgabe vom LAF-Sensor, während der Berechnung des zylinderweise Korrekturkoeffizienten KOBSV # N nach Maßgabe der Ausgabe vom LAF-Sensor 17. Diese Routine wird gleichzeitig mit der Erzeugung jedes TDC-Signalimpulses ausgeführt.

In einem Schritt S1 wird bestimmt, ob sich die Maschine in einem Startmodus befindet oder nicht, d. h. ob die Maschine gerade angelassen wird oder nicht. Wenn sich die Maschine im Startmodus befindet, schreitet das Programm zu einem Schritt S11 vor, um eine Unteroutine für den Startmodus auszuführen. Wenn sich die Maschine nicht im Startmodus befindet, werden der Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Koeffizient (Soll-Äquivalenzverhältnis) KCMD und der abschließende Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Koeffizient KCMMD in einem Schritt S2 berechnet, und die LAF-Sensorausgabeauswahl-Verarbeitung wird in einem Schritt S3 ausgeführt. Ferner wird das Ist-Äquivalenzverhältnis KACT in einem Schritt S4 berechnet. Das Ist-Äquivalenzverhältnis KACT wird durch Umwandeln der Ausgabe vom LAF-Sensor 17 in einen Äquivalenz-Verhältniswert erhalten.

Dann wird in einem Schritt S5 bestimmt, ob der LAF-Sensor 17 in Betrieb genommen wurde oder nicht. Diese Bestimmung wird durchgeführt durch Vergleichen der Differenz zwischen der Ausgabespannung vom LAF-Sensor 17 und einer zentralen Spannung desselben mit einem vorbestimmten Wert (beispielsweise 0,4 Volt) und Bestimmen, daß der LAF-Sensor 17 aktiviert wurde, wenn die Differenz kleiner als der vorbestimmte Wert ist.

Danach wird in einem Schritt S6 bestimmt, ob sich die Maschine 1 in einem Betriebsbereich befindet oder nicht, in welchem die für die Ausgabe vom LAF-Sensor 17 verantwortliche Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Regelung ausgeführt werden muß (nachfolgend als "der LAF-Regelungsbereich" bezeichnet). Genauer gesagt wird bestimmt, daß sich die Maschine 1 im LAF-Regelungsbereich befindet, beispielsweise wenn der LAF-Sensor 17 in Betrieb genommen wurde, jedoch gleichzeitig weder eine Kraftstoffunterbrechung noch eine Drosselventilöffnung durchgeführt wurde. Wenn in diesem Schritt bestimmt wird, daß sich die Maschine nicht im LAF-Regelungsbereich befindet, wird ein Rücksetz-Flag FKLAFFRESET auf 1 gesetzt, welches dann, wenn es auf "1" gesetzt ist anzeigt, daß die Regelung auf Grundlage der Ausgabe vom LAF-Sensor gestoppt werden sollte, wohingegen das Rücksetz-Flag FKLAFFRESET auf "0" gesetzt wird, wenn bestimmt wird, daß sich die Maschine im LAF-Regelungsbereich befindet.

Im folgenden Schritt S7 wird bestimmt, ob das Rücksetz-Flag FKLAFFRESET "1" annimmt oder nicht. Wenn FKLAFFRESET gleich 1 ist, schreitet das Programm zu einem Schritt S8 vor, in welchem der PID-Korrekturkoeffizient KLAf, der Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizient KSTR und der Rückkopplungs-Korrekturkoeffizient KFB alle auf "1,0" gesetzt werden, der zylinderweise Korrekturkoeffizient KOBSV # N wird auf einen erlernten Wert KOBSV # Nsty desselben gesetzt, und ein Integralterm KLAfI der PID-Regelung wird auf "0" gesetzt, gefolgt vom Beenden des vorliegenden Programms. Andererseits, wenn FKLAFFRESET = 0 ist, werden der zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient KOBSV # N und der Rückkopplungs-Korrekturkoeffizient KFB in den Schritten S9 und S10 berechnet, gefolgt vom Beenden des vorliegenden Programms.

Fig. 4 zeigt eine in Schritt S6 aus Fig. 3 ausgeführte LAF-Regelungsbereich-Bestimmungsroutine.

Zunächst wird in einem Schritt S121 bestimmt, ob der LAF-Sensor 17 inaktiv ist. Wenn der LAF-Sensor 17 inaktiv ist, wird in einem Schritt S122 bestimmt, ob ein Flag FFC "1" annimmt, welches dann, wenn es auf "1" gesetzt ist, anzeigt, daß eine Kraftstoffunterbrechung durchgeführt wurde. Wenn FFC = 0 ist, wird in einem Schritt S123 bestimmt, ob ein WOT-Flag FWOT "1" annimmt, welches dann, wenn es auf "1" gesetzt ist, anzeigt, daß die Maschine mit einer weit geöffneten Drossel arbeitet. Wenn FWOT = 0 ist, wird in einem Schritt S124 bestimmt, ob die durch einen nicht gezeigten Batteriespannungssensor erfaßte Batteriespannung VBAT geringer als ein vorbestimmter unterer Grenzwert VBLOW ist. Wenn $VBAT \leq VBLOW$ ist, wird in einem Schritt S125 bestimmt, ob eine Abweichung der LAF-Sensorausgabe von dem passenden dem stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnis entsprechenden Wert (LAF-Sensorausgabeabweichung) vorliegt oder nicht. Wenn eine der Antworten auf die Fragen der Schritt S121 bis S125 positiv ist (Ja), wird das oben genannte Rücksetz-Flag FKLAFFRESET in einem Schritt S132 auf "1" gesetzt.

Andererseits, wenn alle Antworten auf die Fragen der Schritte S121 bis S125 negativ (Nein) sind, wird angenommen, daß die Regelung auf Grundlage der Ausgabe des LAF-Sensors ausgeführt werden kann, und dann wird das Rücksetz-Flag FKLAFFRESET in einem Schritt S131 auf "0" gesetzt.

Im folgenden Schritt S133 wird bestimmt, ob der O2-Sensor 18 inaktiv ist oder nicht. Wenn der O2-Sensor 18 inaktiv ist, wird in einem Schritt S134 bestimmt, ob die Maschinen-Kühlmittel-Temperatur TW kleiner als ein vorbestimmter unterer Grenzwert TWLOW (beispielsweise 0°C) ist oder nicht. Wenn der O2-Sensor 18 inaktiv ist oder wenn $TW < TWLOW$ ist, wird ein Halte-Flag FKLAFHOLD auf "1" gesetzt, welches dann, wenn es in einem Schritt S136 auf "1" gesetzt ist, angibt, daß der PID-Korrekturkoeffizient KLAf auf dem gegenwärtigen Wert gehalten werden soll, gefolgt vom Beenden des Programms. Wenn der O2-Sensor 18 aktiv ist und gleichzeitig $TW \geq TWLOW$ ist, wird das Halte-Flag FKLAFHOLD in einem Schritt S135 auf "0" gesetzt, gefolgt vom Beenden des Programmes.

Nachfolgend wird eine Unteroutine zur Berechnung des zylinderweisen Korrekturkoeffizienten KOBSV#N beschrieben, welche im Schritt S9 in Fig. 3 ausgeführt wird.

Zunächst wird eine Schätzweise des zylinderweisen Luft-Kraftstoff-Verhältnisses mittels der Überwachungseinheit und dann eine Berechnungsweise des zylinderweisen Korrekturkoeffizienten KOBSV#N auf der Grundlage des geschätzten zylinderweisen Luft-Kraftstoff-Verhältnisses beschrieben werden.

Das am Zusammenflußteil des Abgassystems erfaßte Luft-Kraftstoff-Verhältnis wird als ein gewichteter Durchschnittswert von Luft-Kraftstoff-Verhältnissen einzelner Zylinder angesehen, welcher zeitabhängige Beiträge aller Zylinder wiedergibt, wobei zu Zeitpunkten (k), (k+1), (k+2) erfaßte Werte des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses jeweils durch Gleichungen (2A), (2B) und (2C) ausgedrückt werden. Bei der Herleitung dieser Gleichungen wurde die Kraftstoffmenge (F) als eine Betriebsgröße verwendet, und demzufolge wird in diesen Gleichungen das Kraftstoff-Luft-Verhältnis F/A verwendet:

$$[F/A](k) = C_1[F/A\#1] + C_2[F/A\#3] + C_3[F/A\#4] + C_4[F/A\#2] \quad (2A)$$

$$[F/A](k+1) = C_1[F/A\#3] + C_2[F/A\#4] + C_3[F/A\#2] + C_4[F/A\#1] \quad (2B)$$

$$[F/A](k+2) = C_1[F/A\#4] + C_2[F/A\#2] + C_3[F/A\#1] + C_4[F/A\#3] \quad (2C)$$

Genauer gesagt wird das im Zusammenflußteil des Abgassystems erfaßte Kraftstoff-Luft-Verhältnis als Summe der Werte der zylinderweisen Kraftstoff-Luft-Verhältnisse multipliziert mit jeweiligen Gewichtungen C ausgedrückt, welche in der Verbrennungsfolge (beispielsweise 40% für einen der unmittelbar vorangehenden Verbrennung entsprechenden Zylinder, 30% für einen für einen der zweiten vorangehenden Verbrennung (vor der unmittelbar vorangehenden) entsprechenden, usw.). Dieses Modell kann in Blockdiagrammen wie in Fig. 5 gezeigt ausgedrückt werden, und die Zustandsgleichung dafür wird durch die folgende Gleichung (3) ausgedrückt:

$$\begin{bmatrix} x(k-2) \\ x(k-1) \\ x(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 010 & x(k-3) \\ 001 & x(k-2) \\ 000 & x(k-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(k) \dots (3)$$

Ferner kann dann, wenn das im Zusammenflußteil erfaßte Kraftstoff-Luft-Verhältnis durch $y(k)$ bezeichnet wird, die Ausgabegleichung durch die folgende Gleichung (4) ausgedrückt werden:

$$y(k) = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 \\ 1 & 2 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k-3) \\ x(k-2) \\ x(k-1) \end{bmatrix} + C_4 u(k) \dots (4)$$

50

wobei $C_1: 0,05, C_2: 0,15, C_3: 0,30, C_4: 0,05$ ist.

In der Gleichung (4) kann $u(k)$ nicht überwacht werden, und damit kann eine Überwachungseinheit, welche auf der Grundlage dieser Zustandsgleichung gestaltet ist, keine Überwachung von $x(k)$ ermöglichen. Deshalb gilt unter der Annahme, daß ein Wert des vier TDC-Signalimpulse früher erfaßten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses (d. h. der unmittelbar vorangehende Wert für denselben Zylinder) einen Wert wiedergibt, der unter einem Dauerbetriebszustand der Maschine ohne starke Änderung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses erhalten wurde, daß $x(k+1) = x(k-3)$ ist, wodurch die Gleichung (4) zur folgenden Formel (5) umgeformt werden kann:

60

$$y(k) = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k-3) \\ x(k-2) \\ x(k-1) \\ x(k) \end{bmatrix} \dots (5)$$

Es wurde experimentell festgestellt, daß das oben beschriebene Modell genau das Abgassystem der Vierzylindermaschine wiedergibt. Deshalb ist ein beim Schätzen des zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnisses ausgehend vom im Zusammenflußteil des Abgassystems erfaßten Luft-Kraftstoff-Verhältnis A/F entstehendes Problem dasselbe Problem wie bei einem herkömmlichen Kalman-Filter, welcher bei der Überwachung von $x(k)$ durch die folgende Zustandsgleichung und Ausgabegleichung (6A), (6B) eingesetzt wird. Wenn Gewichtungsma-
trizen Q, R durch die folgende Formel (7) ausgedrückt werden, kann die Riccati-Gleichung gelöst werden, um eine Verstärkungsmatrix K zu erhalten, welche durch die folgende Formel (8) wiedergegeben wird:

$$X(k+1) = AX(k) + Bu(k) \quad (6A)$$

10

$$y(k) = CX(k) + Du(k) \quad (6B)$$

wobei

$$A = \begin{bmatrix} 0100 \\ 0010 \\ 0001 \\ 1000 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \end{bmatrix} \quad B = D = [0]$$

15

20

$$X(k) = \begin{bmatrix} x(k-3) \\ x(k-2) \\ x(k-1) \\ x(k) \end{bmatrix}$$

25

30

$$Q = \begin{bmatrix} 1000 \\ 0100 \\ 0010 \\ 0001 \end{bmatrix} \quad R = [1] \dots (7)$$

35

40

$$K = \begin{bmatrix} -0.3093 \\ 1.1916 \\ 0.3093 \\ 0.0803 \end{bmatrix} \dots (8)$$

45

50

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel existiert keine Eingabe von $u(k)$, welche die Eingabe einer Überwachungseinheit eines allgemeinen Typs ist, so daß die Überwachungseinheit derart aufgebaut ist, daß $y(k)$ allein die Eingabe für diese ist, wie in Fig. 6 gezeigt, welche durch die folgende Formel (9) ausgedrückt wird.

$$\hat{X}(k+1) = [A - KC] \hat{X}(k) + Ky(k)$$

$$(= A\hat{X}(k) + K(y(k) - C\hat{X}(k)))$$

55

60

$$\hat{X}(k) = [0001] \begin{bmatrix} \hat{x}(k-3) \\ \hat{x}(k-2) \\ \hat{x}(k-1) \\ \hat{x}(k) \end{bmatrix} \dots (9)$$

65

Deshalb kann aus dem Kraftstoff-Luft-Verhältnis $y(k)$ im Zusammenflußteil und dem Schätzwert $\hat{X}(k)$ des zylinderweisen in der Vergangenheit erhaltenen Kraftstoff-Luft-Verhältnisses der Schätzwert $\hat{X}(k)$ desselben in der gegenwärtigen Schleife berechnet werden.

Wenn der Schätzwert $\hat{X}(k+1)$ des zylinderweisen Kraftstoff-Luft-Verhältnisses unter Verwendung oben genannter Formel (9) berechnet wird, wird das Ist-Äquivalenzverhältnis $KACT(k)$ als Kraftstoff-Luftverhältnis $y(k)$ im Zusammenflußteil eingesetzt. Dieses Ist-Äquivalenzverhältnis $KACT(k)$ umfaßt die Verzögerung der Antwort des LAF-Sensors, wohingegen $C\hat{X}(k)$ (d. h. die Summe der vier zylinderweisen Kraftstoff-Luft-Verhältniswerte multipliziert mit den jeweiligen Gewichtungen) selbiges nicht enthält. Deshalb kann die Formel (9), welche von der Verzögerung der Antwort des LAF-Sensors abhängt, nicht eine genaue Schätzung des zylinderweisen Kraftstoff-Luft-Verhältnisses ermöglichen. Genauer gesagt, wenn die Motordrehzahl hoch ist, wird das Intervall der Erzeugung jedes TDC-Signalimpulses entsprechend verkürzt, so daß die Ansprechverzögerung des LAF-Sensors einen wachsenden Einfluß auf die Schätzung des zylinderweisen Kraftstoff-Luft-Verhältnisses hat.

Deshalb wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel ein Schätzwert $\hat{y}(k)$ des Kraftstoff-Luft-Verhältnisses im Zusammenflußteil der Maschine zunächst durch Verwendung der folgenden Gleichung (10) und dann durch Einsetzen des Schätzwerts $\hat{y}(k)$ in die folgende Formel (II) berechnet, wobei der Schätzwert $\hat{x}(k+1)$ des zylinderweisen Kraftstoff-Luft-Verhältnisses berechnet wird.

$$\hat{y}(k+1) = DL\hat{y}(k-1) + (1 - DL)C\hat{X}(k) \quad (10)$$

$$20 \quad \hat{X}(k+1) = A\hat{X}(k) + K(y(k) - \hat{y}(k)) \quad (11)$$

In der oben genannten Gleichung (10) ist DL eine Verzögerungszeitkonstante angebender Parameter, welcher eine Ansprechverzögerung des LAF-Sensors 17 wiedergibt. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird DL durch die Verwendung einer in Fig. 7 gezeigten DL -Tabelle berechnet. Die DL -Tabelle hat DL -Werte im Bereich von 0 bis 1,0, welche entsprechend der Motordrehzahl NE und des Einlaßrohr-Absolutdrucks PBA festgesetzt sind. In Fig. 7 repräsentierten $PBA1$ bis $PBA3$ jeweils 660 mmHG, 460 mmHG und 260 mmHG. Die Verzögerungszeitkonstante DL wird durch Auslesen der DL -Tabelle nach Maßgabe der erfaßten Maschinen-drehzahl NE und des erfaßten Einlaßrohrabsolutdrucks PBA und zusätzlich, falls erforderlich, durch Interpolation bestimmt. Es wurde experimentell festgestellt, daß der Optimalwert der Verzögerungszeitkonstante DL erhalten wird, wenn er äquivalent zu einem Wert ist, der angenähert 20% länger als die Ist-Verzögerungszeit ist.

Ferner sind bei einem Anfangsvektor von $X(k)$ in den Gleichungen (10) und (II) beispielsweise alle seine Komponenten ($x(k-3), x(k-2), x(k-1), x(k)$) auf "1,0" festgesetzt, und in der Gleichung (10) ist ein Anfangswert von $y(k-1)$ auf "1,0" festgesetzt.

Auf diese Art und Weise kann durch Verwenden der Formel (11), wobei $CX(k)$ der Formel (9) durch den Schätzwert $\hat{y}(k)$ des Kraftstoff-Luft-Verhältnisses im Zusammenflußteil ersetzt wird, welcher die Ansprechverzögerung des LAF-Sensors enthält, die Ansprechverzögerung des LAF-Sensors passend kompensiert und das zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnis genau geschätzt werden. Es sollte erwähnt werden, daß in der folgenden Beschreibung die geschätzten zylinderweise Äquivalenzverhältnisse $KACT\#1(k)$ bis $KACT\#4(k)$ $x(k)$ entsprechen.

Als nächstes wird eine Berechnungsart des zylinderweisen Korrekturkoeffizienten $KOBSV\#N$ auf Grundlage des geschätzten zylinderweisen Luft-Kraftstoff-Verhältnisses mit Bezug auf Fig. 8 beschrieben.

Zunächst wird, wie in Gleichung (12) gezeigt, ein Sollwert $KCMDOBSV(k)$ als ein dem Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis A/F entsprechendes Äquivalenzverhältnis durch Teilen des dem Luft-Kraftstoff-Verhältnis A/F im Zusammenflußteil entsprechenden Ist-Äquivalenzverhältnisses $KACT$ durch den unmittelbar vorangehenden Wert des Durchschnittswerts des zylinderweisen Korrekturkoeffizienten $KOBSV\#N$ für alle Zylinder berechnet. Der zylinderweise Korrekturkoeffizient $KOBSV\#1$ für den #1-Zylinder wird durch die PID-Regelung derart berechnet, daß die Differenz $DKACT\#1(k)$ (= $KACT\#1(k) - KCMDOBSV(k)$) zwischen dem Sollwert $KCMDOBSV(k)$ und dem zylinderweise für den #1-Zylinder geschätzten Äquivalenzverhältnis $KACT\#1$ gleich 0 wird.

50

$$KCMDOBSV(k) = \frac{KACT(k)}{\sum_{N=1}^4 KOBSV\#N(k-1)/4}$$

55

$$\dots (12)$$

Genauer gesagt werden ein Proportionalterm $KOBSVP\#1$ und ein Integralterm $KOBSVI\#1$ und ein Differentialterm $KOBSVD\#1$ unter Verwendung der folgenden Gleichungen (13A), (13B), (13C) berechnet.

Dann wird der für den #1-Zylinder geschätzte zylinderweise Korrekturkoeffizient $KOBSV\#1$ unter Verwendung der folgenden Gleichung (14) berechnet.

$$KOBSVP\#1(k) = KPOBSY \times DKACT\#1(k) \quad (13A)$$

$$65 \quad KOBSVI\#1(k) = KIOBSV \times DKACT\#1(k) + KOBSVI\#1(k-1) \quad (13B)$$

$$KOBSVD\#1(k) = KDOBSV \times (DKACT\#1(k) - DKACT\#1(k-1)) \quad (13C)$$

$$\text{KOBSV}\#1(k) = \text{KOBSVP}\#1(k) + \text{KOBSVI}\#1(k) + \text{KOBSVD}\#1(k) + 1.0 \quad (14)$$

wobei KPOBSV, KIOBSV und KDOBSV jeweils einen Basisproportionalterm, einen Basisintegralterm und einen Basisdifferentialterm wiedergeben.

Ähnliche Gleichungen werden für die anderen Zylinder #2 bis #4 aufgestellt, um zylinderweise Korrekturkoeffizienten KOBSV#2 bis #4 zu erhalten. 5

Durch diesen Steuerungs-/Regelungsbetrieb wird das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des jedem Zylinder zugeführten Gemisches in das Zusammenflußteil des Abgassystems erfaßte Luft-Kraftstoff-Verhältnis umgewandelt. Da das Luft-Kraftstoff-Verhältnis im Zusammenflußteil unter Verwendung des PID-Korrekturkoeffizienten LAF zum Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis umgewandelt wird, können die Luft-Kraftstoff-Verhältniswerte der allen Zylindern zugeführten Gemische schließlich dem Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis angenähert werden. 10

Ferner wird ein erlernter KOBSV#Nsty des zylinderweise Korrekturkoeffizienten KOBSV#N durch Verwendung der folgenden Gleichung (15) berechnet und gespeichert:

$$\text{KOBSV}\#Nsty = \text{Csty} \times \text{KOBSV}\#N + (1 - \text{Csty}) \times \text{KOBSV}\#Nsty \quad (15) \quad 15$$

wobei Csty einen Gewichtungskoeffizienten und KOBSV#Nsty auf der rechten Seite der Gleichung den unmittelbar vorangehend erlernten Wert wiedergibt.

Fig. 9 zeigt eine Unterroutine zur Berechnung des zylinderweise Korrekturkoeffizienten KOBSV#N, welche im Schritt S9 in Fig. 3 ausgeführt wird. 20

Zunächst wird in einem Schritt S331 bestimmt, ob eine Verschlechterung der niedrigen Ausgabe des LAF-Sensors 17 erfaßt wurde oder nicht. Wenn keine Verschlechterung bei der niedrigen Ausgabe erfaßt wurde, springt das Programm zu einem Schritt S336, wohingegen wenn eine Verschlechterung der niedrigen Ausgabe erfaßt wurde, wird in einem Schritt S332 bestimmt, ob das Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis KCMD gleich 1,0 ist oder nicht, d. h. ob das Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis gleich dem stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnis ist oder nicht. Eine Verschlechterung der niedrigen Ausgabe des LAF-Sensors bedeutet, daß die Ausgabe des LAF-Sensors, welche dann an liegt, wenn das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des Gemisches tatsächlich auf einen Wert gesteuert/geregelt wird, der magerer als das stöchiometrische Luft-Kraftstoff-Verhältnis ist, von einem geeigneten Wert zu einem Grad unter einem vorbestimmten Grenzwert abweicht. Wenn im Schritt S332 KCMD = 1,0 ist, schreitet das Programm zu einem Schritt S336 vor, wohingegen wenn KCMD ≠ 1,0 ist, wird der zylinderweise Korrekturkoeffizient KOBSV#N in einem Schritt S344 auf 1,0 für alle Zylinder gesetzt, gefolgt vom Beenden des Programms ohne Ausführen der zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Regelung. 25

Im Schritt 336 wird das Luft-Kraftstoff-Verhältnis zylinderweise durch die oben beschriebene Überwachungseinheit geschätzt, und dann wird in einem Schritt S337 bestimmt, ob ein Halte-Flag FKLAFF "1" annimmt, welches dann, wenn es auf "1" gesetzt ist, anzeigt, daß der PID-Korrekturkoeffizient auf dem gegenwärtigen Wert gehalten werden sollte. Wenn im Schritt S337 FKLAFFHOLD = 1 ist, wird das vorliegende Programm umgehend beendet. 30

Wenn im Schritt S337 FKLAFFHOLD = 0 ist, wird in einem Schritt S338 bestimmt, ob das Rücksetz-Flag FKLAFFRESET "1" annimmt. Wenn FKLAFFRESET = 0, wird in einem Schritt S339 bestimmt, ob die Maschinen-drehzahl NE höher als ein vorbestimmter Wert NOBSV (beispielsweise 3500 Umdrehungen pro Minute) ist oder nicht. Wenn NE ≤ NOBSV ist, wird in einem Schritt S340 bestimmt, ob der Einlaßrohrabsolutdruck PBA höher als ein vorbestimmter oberer Grenzwert PBOBSVH (beispielsweise 650 mmHG) ist oder nicht. Wenn in einem Schritt S340 PBA ≤ PBOBSVH ist, wird eine in Fig. 11 gezeigte PBOBSVL-Tabelle nach Maßgabe der Maschinendrehzahl NE ausgelesen, um in einem Schritt S341 einen unteren Grenzwert PBOBSVL des Einlaßrohrabsolutdrucks zu bestimmen, und es wird in einem Schritt S342 bestimmt, ob der Einlaßrohrabsolutdruck PBA geringer als der bestimmte untere Grenzwert PBOBSVL ist oder nicht. 40

Wenn eine der Antworten auf die Fragen der Schritte S338 bis S340 und S342 positiv ist (Ja), schreitet das Programm zum Schritt S344 vor, wodurch die zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Regelung nicht durchgeführt wird. Andererseits, wenn alle Antworten auf die Fragen der Schritte S338 bis S340 und S342 negativ (Nein) sind, wird angenommen, daß die Maschine in einem Betriebsbereich ist, welcher einer schraffierten Fläche in Fig. 11 entspricht. Dies bedeutet, daß die zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Regelung ausgeführt werden kann, so daß der zylinderweise Korrekturkoeffizient KOBSV#N in der oben in einem Schritt S343 beschrieben Art und Weise berechnet wird, gefolgt vom Beenden des Programms. 50

Fig. 10 zeigt eine Unterroutine zum Schätzen des zylinderweisen Luft-Kraftstoff-Verhältnisses, welche in dem Schritt S336 in Fig. 9 ausgeführt wird. 55

Zunächst wird in einem Schritt S361 eine arithmetische Operation unter Verwendung der Überwachungseinheit (d. h. Schätzung des zylinderweisen Luft-Kraftstoff-Verhältniswertes) für die Hochgeschwindigkeits-Ventilzeitsteuerung durchgeführt, und im folgenden Schritt S362 wird eine arithmetische Berechnung unter Verwendung der Überwachungseinheit für die Niedriggeschwindigkeits-Ventilzeitsteuerung durchgeführt. Dann wird in einem Schritt S363 bestimmt, ob die vorliegende Ventilzeitsteuerung auf die Hochgeschwindigkeits-Ventilzeitsteuerung gesetzt ist oder nicht. Wenn die gegenwärtige Ventilzeitsteuerung auf die Hochgeschwindigkeits-Ventilzeitsteuerung gesetzt ist, wird ein Ergebnis der Überwachungseinheit-Arithmetikoperation für die Hochgeschwindigkeits-Ventilzeitsteuerung in einem Schritt S364 ausgewählt, wohingegen wenn die gegenwärtige Ventilzeitsteuerung auf die Niedriggeschwindigkeit-Ventilzeitsteuerung gesetzt ist, wird in einem Schritt S365 ein Ergebnis der Überwachung-Arithmetikoperation für die Niedriggeschwindigkeits-Zeitsteuerung ausgewählt. 60

Der Grund dafür, daß die Überwachungseinheit-Arithmetikoperation für die Hochgeschwindigkeits-Ventilzeitsteuerung und die Niedriggeschwindigkeitsventil-Zeitsteuerung somit vor der Bestimmung der vorliegen-

den Ventilzeitsteuerung ausgeführt wird, ist, daß die Schätzung des zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnisses verschiedener arithmetischer Operationen bedarf, bevor die Schätzungsgergebnisse sich angenähert haben. Durch die oben beschriebene Schätzweise ist es möglich, die Genauigkeit der Schätzung des zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnisses unmittelbar nach Wechseln der Ventilzeitsteuerung zu verbessern.

5 Als nächstes wird eine Unterroutine zur Berechnung des Rückkopplungs-Korrekturkoeffizienten KFB beschrieben, welche in dem Schritt S10 in Fig. 3 ausgeführt wird.

Der Rückkopplungs-Korrekturkoeffizient KFB wird entweder auf den PID-Korrekturkoeffizienten KLAf oder den Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten KSTR nach Maßgabe der Betriebsbedingungen der Maschine gesetzt. Zunächst werden Berechnungsarten dieser Korrekturkoeffizienten jeweils mit Bezug auf Fig. 12 und 13 beschrieben werden.

10 Fig. 12 zeigt eine Routine zur Berechnung des PID-Korrekturkoeffizienten KLAf.

In einem Schritt S301 in Fig. 12 wird bestimmt, ob das Halte-Flag FKLAfHOLD "1" annimmt oder nicht. Wenn FKLAfHOLD = 1 ist, wird die gegenwärtige Verarbeitung umgehend beendet, wohingegen wenn FKLAfHOLD = 0 ist, wird in einem Schritt S302 bestimmt, ob das Rücksetz-Flag FKLFRESET "1" annimmt oder nicht. Wenn FKLFRESET = 1 ist, schreitet das Programm zu einem Schritt S303 vor, in welchem der PID-Korrekturkoeffizient KLAf auf "1,0" gesetzt wird und gleichzeitig eine Integralterm-Regelungsverstärkung KI und eine Differenz DKAF zwischen dem Soll-Äquivalenz-Verhältnis KCMD und dem Ist-Äquivalenz-Verhältnis KCT auf "0" gesetzt werden, gefolgt vom Beenden des Programms.

15 Wenn in dem Schritt S302 FKLFRESET = 0 ist, schreitet das Programm zu einem Schritt S304 vor, wobei eine Proportionalterm-Regelungsverstärkung KP die Integralterm-Regelungsverstärkung KI und eine Differenzterm-Regelungsverstärkung KD aus jeweiligen Karten nach Maßgabe der Maschinendrehzahl NE und des Einlaßrohrabsolutdrucks PBA ausgelesen werden. Es ist anzumerken, daß im Leerlauf der Maschine Verstärkungswerte für die Leerlaufbedingung angenommen werden. Dann wird die Differenz DKAF(k) (= KCMD(k)-KACT(k)) zwischen dem Soll-Äquivalenz-Verhältnis KCMD und dem Ist-Äquivalenz-Verhältnis KACT in einem Schritt S305 berechnet, und die Differenz DKAF(k) und die Verstärkungen KP, KI und KD werden in die folgenden Gleichungen (16A) bis (16C) eingesetzt, um in einem Schritt S306 einen Proportionalterm KLAfp(k), einen Integralterm KLAfi(k) und einen Differentialterm KLAfd(k) zu berechnen:

$$KLAfp(k) = DKAF(k) \times KP \quad (16A)$$

$$KLAfi(k) = DKAF(k) \times KI + KLAfi(k-1) \quad (16B)$$

$$KLAfd(k) = (DKAF(k) - DKAF(k-1)) \times KD \quad (16C)$$

35 In den folgenden Schritten S307 bis S310 wird eine Grenzregelung des Integralterms KLAfi(k) durchgeführt. Genauer gesagt wird bestimmt, ob der KLAfi(k)-Wert in einen Bereich fällt, welcher in Schritten S307 und S308 jeweils durch vorbestimmte obere und untere Grenzwerte KLAfILMTH und KLAfILMLT begrenzt wird. Wenn KLAfi(k) > KLAfILMTH ist, wird in einem Schritt S310 der Integralterm KLAfi(k) auf den vorbestimmten oberen Grenzwert KLAfILMTH gesetzt, wohingegen wenn KLAfi(k) < KLAfILMLT ist, wird dieser in einem Schritt S309 auf den vorbestimmten unteren Grenzwert KLAfILMTH gesetzt.

40 Im folgenden Schritt S311 wird der PID-Korrekturkoeffizient KLAf(k) unter Verwendung der folgenden Gleichung (17) berechnet:

$$KLAf(k) = KLAfp(k) + KLAfi(k) + KLAfd(k) + 1.0 \quad (17)$$

45 Dann wird in einem Schritt S312 bestimmt, ob der KLAf(k)-Wert größer als ein vorbestimmter oberer Grenzwert KLAfLMTH ist oder nicht. Wenn KLAf(k) > KLAfLMTH, wird der PID-Korrekturkoeffizient KLAf in einem Schritt S316 auf den vorbestimmten oberen Grenzwert KLAfLMTH gesetzt, gefolgt vom Beenden des Programms.

50 Wenn in einem Schritt S312 KLAf(k) ≤ KLAfLMTH ist, wird in einem Schritt S314 bestimmt, ob der KLAf(k)-Wert kleiner als ein vorbestimmter unterer Grenzwert KLAfMLT ist oder nicht. Wenn KLAf(k) ≥ KLAfLMTH ist, wird das vorliegende Programm umgehend beendet, wohingegen wenn KLAf(k) < KLAfMLT, wird der PID-Korrekturkoeffizient KLAf in einem Schritt S315 auf den vorbestimmten unteren Grenzwert KLAfMLT gesetzt, gefolgt vom Beenden des Programms.

55 Durch die oben beschriebene Unterroutine wird der PID-Korrekturkoeffizient KLAf mittels der PID-Regelung derart berechnet, daß das Ist-Äquivalenzverhältnis KACT gleich dem Soll-Äquivalenzverhältnis KCMD wird.

Als nächstes wird eine Berechnung des Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten KSTR mit Bezug auf Fig. 13 beschrieben werden.

60 Fig. 13 zeigt den Aufbau des Blocks B19 in Fig. 2, d. h. den selbsteinstellenden Steuer-/Regel (nachfolgend als "der STR" bezeichnet)-Block. Der STR-Block umfaßt eine Steuer-/Regeleinheit zum Festsetzen des Adaptivkontroll-Korrekturkoeffizienten KSTR derart, daß das erfaßte Äquivalenzverhältnis KACT (k) gleich dem Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Koeffizienten (Solläquivalenzverhältnis) KCMD (k) wird, und ein Parameter-Einstellmechanismus zum Festsetzen von Parametern, die von der STR-Steuer-/Regeleinheit zu verwenden sind.

65 Einstellgesetze (Mechanismen) zur Adaptivregelung, welche im vorliegenden Ausführungsbeispiel eingesetzt werden, umfassen ein von Landau et al. vorgeschlagenes Parameter-Einstellgesetz. Gemäß diesem Parameter-Einstellgesetz wird die Stabilität des sogenannten Adaptivsystems durch Umwandeln des sogenannten Adaptivsystems in ein Äquivalenz-Rückkopplungssystem sichergestellt, welches einen Linearblock und einen nicht-li-

nearen Block umfaßt, und ein Festlegen des Parametereinstellgesetzes, derart, daß Popovs Integralungleichheit in bezug auf Eingabe zu und Ausgabe vom nicht-linearen Block gilt und gleichzeitig der lineare Block "streng positiv real" ist. Dieses Gesetz ist bekannt und beschrieben beispielsweise in "Computrole" Nr. 27, CORONA PUBLISHING CO., LTD., Japan, S. 28—41, "Automatic Control Handbook" OHM, LTD., Japan, S. 703—707, "A Survey of Model Reference Adaptive Techniques—Theory and Application", LD. LANDAU "Automatica" Vol. 10, S. 353—379, 1974, "Unification of Discrete Time Explicit Model Reference Adaptive Control Designs", LD. LANDAU et al. "Automatica" Vol. 17, Nr. 4, S. 593—611, 1981, und "Combining Model Reference Adaptive Controllers and Stochastic Self-tuning Regulators", LD. LANDAU "Automatica" Vol. 18, Nr. 1, S. 77—84, 1992.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird das oben genannte von Landau und anderen vorgeschlagene Parametereinstellgesetz verwendet. Dieses Parametereinstellgesetz wird im Detail im folgenden beschrieben: Gemäß diesem Einstellgesetz werden dann, wenn Polynome des Nenners und Zählers der Transformationsfunktion $A(z^{-1})/B(z^{-1})$ des Regelobjekts durch ein diskretes System durch folgende Gleichungen (18A) und (18B) ausgedrückt werden, der Adaptivparameter $\hat{\Theta}(k)$ und die Eingabe $\zeta(k)$ für den Adaptivparameter-Einstellmechanismus durch folgende Gleichungen (19) und (20) festgelegt. Die Gleichungen (19) und (20) definieren ein Beispiel einer Einrichtung, in welcher $m = 1$, $n = 1$ und $d = 3$ gilt, d. h. ein System erster Ordnung hat eine unwirksame Zeit (Totzeit) über drei Regelzyklen. Das dabei verwendete Symbol k gibt an, daß der Parameter mit (k) den gegenwärtigen Wert hat, einer mit $(k-1)$ den unmittelbar vorangehenden Wert usw. $u(k)$ und $y(k)$ entsprechen jeweils im vorliegenden Ausführungsbeispiel dem Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten $KSTR(k)$ -Wert und dem zylinderweise geschätzten Äquivalenzverhältnis $KACT \# N(k)$ -Wert.

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n} \quad (18A)$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m} \quad (18B)$$

$$\hat{\Theta}^T(k) = [b_0(k), r_1(k), \dots, r_m + d - 1(k), S_0(k), \dots, S_{n-1}(k)] = [b_0(k), r_1(k), r_2(k), r_3(k), s_0(k)] \quad (19)$$

$$\zeta^T(k) = [u(k), \dots, u(k-m-d+1), y(k), \dots, y(k-n+1)] = [u(k), u[k-1], u(k-2), u(k-3), y(k)] \quad (20)$$

Der Adaptivparameter $\hat{\Theta}(k)$ wird durch die folgende Gleichung (21) ausgedrückt

$$\hat{\Theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + \Gamma(k-1) \zeta(k-d) e^*(k) \dots \quad (21)$$

wobei die Symbole $\Gamma(k)$ und $e^*(k)$ jeweils eine Verstärkungsmatrix und ein Identifikationsfehlersignal wiedergeben und durch die folgenden Rekursionsformeln (22) und (23) ausgedrückt werden können:

$$\Gamma(k) = \frac{1}{\lambda_1(k)} \left[\Gamma(k-1) - \frac{\lambda_2(k) \Gamma(k-1) \zeta(k-d) \zeta^T(k-d) \Gamma(k-1)}{\lambda_1(k) + \lambda_2(k) \zeta^T(k-d) \Gamma(k-1) \zeta(k-d)} \right] \dots \quad (22)$$

$$e^*(k) = \frac{D(z^{-1})y(k) - \hat{\theta}^T(k-1)\zeta(k-d)}{1 + \zeta^T(k-d)\Gamma(k-1)\zeta(k-d)} \dots \quad (23)$$

Ferner ist es möglich, verschiedene spezifische Algorithmen in Abhängigkeit von festgesetzten Werten von $\lambda_1(k)$ und $\lambda_2(k)$ der Gleichung (22) vorzusehen. Beispielsweise wenn $\lambda_1(k) = 1$ und $\lambda_2(k) = \lambda$ ($0 < \lambda_1 < 2$), wird ein progressiv abnehmender Verstärkungsalgorithmus vorgesehen (wenn $\lambda = 1$, die Methode der kleinsten Quadrate), wenn $\lambda_1(k) = \lambda_1$ ($0 < \lambda_1 < 1$) und $\lambda_2(k) = \lambda_2$ ($0 < \lambda_2 < 2$) ein variabler Verstärkungsalgorithmus (wenn $\lambda_2 = 1$, die Methode der gewichteten kleinsten Quadrate), und wenn $\lambda_1(k)/\lambda_2(k) = \sigma$ und wenn λ_3 durch die folgende Gleichung (24) ausgedrückt wird, sieht $\lambda_1(k)/\lambda_3$ ein fixed trace Algorithmus (Festspuralgorithmus) vor. Ferner, wenn $\lambda_1(k) = 1$ und $\lambda_2(k) = 0$ ist, wird ein Festverstärkungsalgorithmus erhalten. In diesem Fall, wie aus Gleichung (23) ersichtlich ist, ist $\Gamma(k) = \Gamma(k-1)$ und damit wird $\Gamma(k) = \Gamma$ (Festwert) erhalten.

$$\lambda_3(k) = 1 - \frac{\|\Gamma(k-1)\zeta(k-d)\|^2}{\sigma + \zeta^T(k-d)\Gamma(k-1)\zeta(k-d)} \cdot \frac{1}{\text{tr}\Gamma(0)} \dots \quad (24)$$

Im Beispiel aus Fig. 13 sind die STR-Regeleinheit (Adaptivregler) und der Adaptivparameter-Einstellmechanismus außerhalb des Kraftstoffeinspritzmengen-Berechnungssystems angeordnet und arbeiten, um den Rückkopplungs-Korrekturkoeffizienten $KSTR(k)$ derart zu berechnen, daß das Ist-Luft-Kraftstoff-Verhältnis $KACT(k)$ gleich dem Soll-Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Koeffizienten $KCMD(k-d')$ in einer adaptiven Weise wird (d' gibt den oben angesprochenen unwirksamen Zeitraum an, bevor der $KCMD$ -Wert das Ist-Luft-Kraftstoff-Verhältnis $KACT$ wiedergibt).

Auf diese Weise werden der Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizient KSTR(k) und das geschätzte zylinderweise Äquivalenzverhältnis KACT # N(k) bestimmt, welche Eingaben des Adaptivparameter-Einstellmechanismus sind, wobei der Adaptivparameter $\zeta(k)$ berechnet wird, um in die STR-Regeleinheit eingegeben zu werden. Der STR-Regeleinheit wird ebenfalls der Solläquivalenz-Verhältnis-Koeffizienten KCMD(k) zugeführt und diese berechnet unter Verwendung der folgenden Rekursionsformel (25) den Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten KSTR(k) derart, daß das Istäquivalenzverhältnis KACT(k) gleich dem Solläquivalenz-Verhältnis-Koeffizienten KCMD(k) wird:

$$KSTR(k) = \frac{[KCMD(k-d') - s_0] \times KACT(k) - r_1 \times KSTR(k-1) - r_2 \times KSTR(k-2) - r_3 \times KSTR(k-3)]/b_0}{b_0} \quad (25)$$

In obiger Beschreibung werden der Steuerungs-/Regelungszyklus und der Wiederholungszeitraum zur Berechnung des KSTR-Werts (Wiederholungszeitraum zur Erzeugung von TDC-Signalimpulsen) miteinander in Übereinstimmung gebracht und der Adaptivkontroll-Korrekturkoeffizient KSTR wird somit gemeinsam für alle Zylinder berechnet. Das vorliegende Ausführungsbeispiel verwendet allerdings den Steuerungs-/Regelungszyklus, welcher entsprechend Zylinderzahl oder vier TDC-Signalimpulsen aufgestellt wurde, wodurch der Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizient KSTR zylinderweise bestimmt wird. Genauer gesagt werden die oben aufgeführten Formeln (20) bis (25) jeweils durch die folgenden Formeln (26) bis (31) ersetzt, um den Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten KSTR zylinderweise für die Verwendung bei der Adaptivregelung zu bestimmen.

$$\zeta^T(k) = [u(k), u(k-4), u(k-8), u(k-12), y(k)] \quad \dots (26)$$

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-4) + \Gamma(k-4)\zeta(k-4 \times d)e^*(k) \quad \dots (27)$$

$$\Gamma(k) = \frac{1}{\lambda_1(k)} \left[\Gamma(k-1) - \frac{\lambda_2(k)\Gamma(k-4)\zeta(k-4 \times d)\zeta^T(k-4 \times d)\Gamma(k-4)}{\lambda_1(k) + \lambda_2(k)\zeta^T(k-4 \times d)\Gamma(k-4)\zeta(k-4 \times d)} \right] \quad \dots (28)$$

$$e^*(k) = \frac{D(z^{-1})y(k) - \hat{\theta}^T(k-4)\zeta(k-4 \times d)}{1 + \zeta^T(k-4 \times d)\Gamma(k-4)\zeta(k-4 \times d)} \quad \dots (29)$$

$$\lambda_3(k) = 1 - \frac{\|\Gamma(k-4)\zeta(k-4 \times d)\|^2}{\sigma + \zeta^T(k-4 \times d)\Gamma(k-4)\zeta(k-4 \times d)} \cdot \frac{1}{\text{tr}\Gamma(0)} \quad \dots (30)$$

$$KSTR(k) = \{ KCMD(k-4 \times d') - s_0 \times KACT(k) - r_1 \times KSTR(k-4) \\ - r_2 \times KSTR(k-8) - r_3 \times KSTR(k-12) \} / b_0 \quad \dots (31)$$

in der oben genannten Formel (31) gibt d beispielsweise "2" wieder.

Wie oben beschrieben, wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel der Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizient KSTR zylinderweise berechnet und gleichzeitig wird das dem Adaptivparameter-Einstellmechanismus einzugebende $y(k)$ nicht auf den Istäquivalenzverhältnis KACT # N(k)-Wert, sondern auf den geschätzten zylinderweise Äquivalenzverhältnis KACT # N(k)-Wert gesetzt, welcher es ermöglicht, die Veränderungen in den Charakteristiken zwischen den Zylindern geeignet in den Adaptivparametern widerzuspiegeln und damit die Steuerbarkeit/Regelbarkeit des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses zu verbessern.

Als nächstes wird eine Berechnungsweise des Rückkopplungs-Korrekturkoeffizienten KFB durch Umschalten zwischen dem PID-Korrekturkoeffizienten KLAf und dem Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten KSTR beschrieben werden, d. h. durch Umschalten zwischen der PID-Regelung und der Adaptivregelung.

Fig. 14 zeigt eine Unteroutine zur Berechnung des Rückkopplungs-Korrekturkoeffizienten KFB, welche im Schritt S10 in Fig. 3 ausgeführt wird.

Zunächst wird in einem Schritt S401 bestimmt, ob der Steuerungs-/Regelungsmodus ein Offenschleifensteuerungsmodus in der letzten Schleife der Ausführung der Fig. 3-Routine war oder nicht, d. h. ob FKLAFRESET = 1 war oder nicht. Wenn der Steuerungs-/Regelungsmodus kein Offenschleifensteuerungsmodus war, wird in

einem Schritt S402 bestimmt, ob die Schwankungsrate DKCMD des Solläquivalenzverhältnisses KCMD ($= \frac{1}{2}$ KCMD(k) – KCMD (k-1)) größer als ein Referenzwert DKCMDREF ist oder nicht. Wenn der Steuerungs-/Regelungsmodus beim letzten Schleifendurchlauf der Fig. 3-Routine der Offenschleifensteuerungsmodus war, oder wenn der Steuerungs-/Regelungsmodus beim letzten Schleifendurchlauf der Fig. 3-Routine der Regelungsmodus war und gleichzeitig die Schwankungsrate DKCMD größer als der Referenzwert DKCMDREF ist, wird angenommen, daß die Maschine in einem Bereich arbeitet, in welchem eine schwach ansprechende Regelung ausgeführt werden sollte (nachfolgend als "der schwach ansprechende F/B-Bereich" bezeichnet). Dann wird in einem Schritt S403 ein Zähler C auf "0" zurückgesetzt, gefolgt von einer Programmfortsetzung mit einem Schritt S411. Im Schritt S411 wird die schwach ansprechende F/B-Regelung durchgeführt, welche nachfolgend mit Bezug auf Fig. 18 beschrieben wird, gefolgt vom Beenden des Programmes.

Wie oben erwähnt, wird bestimmt, daß sich der Motor in einem schwach ansprechenden F/B-Bereich befindet, wenn die Maschine in der letzten Schleife im Offenschleifenbereich war, da ein durch die LAF-Sensorausgabe angegebenes Luft-Kraftstoff-Verhältnis aufgrund einer Erfassungsverzögerung durch den LAF-Sensor nicht notwendigerweise einen wahren oder exakten Wert des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses wiedergibt, welche Verzögerung auftritt, wenn beispielsweise die Kraftstoffzufuhr nach einer Kraftstoffunterbrechung wieder aufgenommen wird, so daß die Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Regelung instabil sein kann. Aus einem ähnlichen Grund wird für die Maschine bestimmt, daß sie sich in einem schwach ansprechenden F/B-Bereich befindet, wenn das Ausmaß der Änderung DKCMD des Solläquivalenzverhältnisses KCMD groß ist, was dann eintritt, wenn beispielsweise eine WOT-Anreicherungsoperation beendet wird, um die normale Luft-Kraftstoff-Regelung/Steuerung wieder aufzunehmen, oder wenn die Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerung/Regelung von der Magerverbrennungs-Steuerung/Regelung zur Regelung auf das stöchiometrische Luft-Kraftstoff-Verhältnis umgeschalten wird.

Wenn die Antworten auf die Fragen der Schritte S401 und S402 beide negativ (NEIN) sind, d. h. wenn in der letzten Schleife der Steuerungs-/Regelungsmodus der Regelungsmodus war und gleichzeitig die Schwankungsrate DKCMD des Solläquivalenzverhältnisses KCMD gleich oder geringer als der Referenzwert DKCMDREF ist, wird der Zähler C um "1" in einem Schritt S404 vergrößert und dann der Zähler C in einem Schritt S405 mit einem vorbestimmten Wert CREF (beispielsweise 5) verglichen. Wenn $C \leq CREF$ ist, schreitet das Programm zum Schritt S411 vor, wohingegen wenn $C > CREF$ ist, schreitet das Programm zu einem Schritt S406 vor, in welchem durch Ausführen einer nachfolgend beschriebenen Unterroutine bestimmt wird, ob die Maschine in einem Bereich arbeitet, in welchem eine hochansprechende Regelung ausgeführt werden sollte (nachfolgend als "hochansprechender F/B-Bereich" bezeichnet) oder in dem schwach ansprechenden F/B-Bereich. Dann wird in einem Schritt S407 bestimmt, ob der Steuerungs-/Regelungsbereich, welcher für den Betrieb der Maschine im Schritt S406 bestimmt wurde, der hochansprechende F/B-Bereich ist oder nicht. Wenn der bestimmte Steuerungs-/Regelungsbereich nicht der hochansprechende F/B-Bereich ist, schreitet das Programm zum Schritt S411 vor, wohingegen dann, wenn der Steuerungs-/Regelungsbereich der hochansprechende F/B-Bereich ist, das Programm zu einem Schritt S408 vorschreitet, in welchem eine nachfolgend beschriebene Unterroutine für die hochansprechende Regelung ausgeführt wird, um den Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten KSTR zu berechnen. Dann wird in einem Schritt S409 bestimmt, ob der Absolutwert der Differenz $|KSTR(k) - 1,0|$ zwischen dem Adaptivkontroll-Korrekturkoeffizienten KSTR und 1,0 größer als ein vorbestimmter Referenzwert KSTRREF ist oder nicht. Wenn $|KSTR(k) - 1,0| > KSTRREF$ ist, schreitet das Programm zum Schritt S411 vor, wohingegen dann, wenn $|KSTR(k) - 1,0| \leq KSTRREF$ ist, in einem Schritt S410 der Rückkopplungs-Korrekturkoeffizient KFB auf den KSTR-Wert gesetzt wird, gefolgt vom Beenden des Programmes.

Wenn der Absolutwert der Differenz zwischen dem Adaptivkontroll-Korrekturkoeffizienten KSTR und 1,0 größer als der vorbestimmte Referenzwert KSTRREF ist, wird somit die schwach ansprechende Regelung zu dem Zweck ausgewählt, daß eine Regelstabilität erreicht wird.

Wenn der Zähler C kleiner als der Referenzwert CREF ist, wird somit die schwach ansprechende Regelung ausgewählt, da unmittelbar nach Rückkehr der Maschinenbetriebsbedingung der Offenschleifensteuerung oder unmittelbar nach großem Schwanken des Solläquivalenzverhältnisses KCMD eine Zeitverzögerung vor Beendigung der Kraftstoffverbrennung und eine Ansprechverzögerung des LAF-Sensors so groß sind, daß Einflüsse derselben nicht durch die Adaptivregelung kompensiert werden können.

Als nächstes wird die in Schritt S406 in Fig. 14 ausgeführte Unterroutine zum Auswählen der Ansprechgeschwindigkeit der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Regelung, d. h. zum Bestimmen, ob die Maschine im hochansprechenden F/B-Bereich oder im schwach ansprechenden F/B-Bereich arbeitet, mit Bezug auf Fig. 15 und 16 beschrieben.

Zunächst wird in einem Schritt S501 bestimmt, ob sich die Ansprechempfindlichkeit des LAF-Sensors 17 verschlechtert hat oder nicht. Wenn sich die Ansprechempfindlichkeit des LAF-Sensor 17 nicht verschlechtert hat, schreitet das Programm zu einem Schritt S502 vor.

Im Schritt S502 wird bestimmt, ob eine Abnormität des LAF-Sensors 17 erfaßt wurde oder nicht. Wenn keine Abnormität des LAF-Sensors 17 erfaßt wurde, wird in einem Schritt S503 bestimmt, ob eine Abnormität des Kurbelwinkelsensors 14 (zylinderunterscheidender Sensor, TDC-Sensor, CRK-Sensor) erfaßt wurde oder nicht. Wenn keine Abnormität des Kurbelwinkelsensors erfaßt wurde, wird in einem Schritt S504 bestimmt, ob eine Abnormität des Drosselventilöffnungs-OTH-Sensors 4 erfaßt wurde oder nicht. Wenn keine Abnormität des Drosselventilöffnungssensors 4 erfaßt wurde, wird in einem Schritt S505 bestimmt, ob eine Abnormität des Ventilzeitsteuerungs-Wechselmechanismus 60 erfaßt wurde oder nicht.

Wenn alle Antworten auf die Fragen der Schritte S501 bis S505 negativ (NEIN) sind, schreitet das Programm zu einem Schritt S506 vor, wohingegen, wenn eine der Antworten positiv (JA) ist, wird in einem Schritt S520 bestimmt, daß sich die Maschine in dem schwach ansprechenden F/B-Bereich befindet, gefolgt vom Beenden des

Programms.

Die schwach ansprechende Regelung wird somit ausgewählt, wenn einer der oben genannten Sensoren abnormal arbeitet, um eine Verschlechterung der Regelbarkeit des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses zu verhindern.

- Dann wird in einem Schritt S506 bestimmt, ob die Maschinen-Kühlmittel-Temperatur TW geringer als ein vorbestimmter Wert TWSTRON ist oder nicht. Wenn $TW \geq TWSTRON$ ist, wird in einem Schritt S507 bestimmt, ob die Maschinen-Kühlmittel-Temperatur TW gleich oder größer als ein vorbestimmter Wert TWSTROFF (beispielsweise 100°C) ist oder nicht. Wenn $TW \geq TWSTROFF$ ist, wird in einem Schritt S508 bestimmt, ob die Einlaßlufttemperatur TA gleich oder größer als ein vorbestimmter Wert TASTROFF ist oder nicht. Wenn im Schritt S507 $TW < TWSTROFF$ ist oder wenn im Schritt S507 $TW \geq TWSTROFF$ ist und gleichzeitig im Schritt S508 $TA < TASTROFF$ ist, schreitet das Programm zu einem Schritt S509 vor, in welchem bestimmt wird, ob die Maschinendrehzahl NE gleich oder größer einem vorbestimmten Wert NESTRLMT ist oder nicht. Wenn $NE < NESTRLMT$ ist, wird in einem Schritt S510 bestimmt, ob sich die Maschine im Leerlauf befindet oder nicht. Wenn sich die Maschine nicht im Leerlauf befindet, wird in einem Schritt S511 bestimmt, ob ein Zeitzähler zur Messung eines Zeitraums in Betrieb ist, welcher Zeitraum nach Beendigung der Traktionssteuerung/regelung durch das Traktionssteuerung/regelungssystem (TCS) verstrichen ist. Dieser Zeitzähler ist als herunterzählender Zeitzähler ausgebildet und wird während des TCS-Betriebs gesetzt und dann gestartet, wenn der TCS-Betrieb beendet wird.

- Wenn der Zeitzähler im Schritt S511 nicht in Betrieb ist, wird in einem Schritt S512 bestimmt, ob ein Zeitzähler zur Messung eines nach Beendigung der Kraftstoffunterbrechung verstrichenen Zeitraums in Betrieb ist oder nicht. Die Kraftstoffunterbrechung wird durchgeführt, wenn sich die Maschine in einer vorbestimmten Verzögerungsbedingung befindet, und das Kraftstoffunterbrechungs-Flag FFC wird während des Kraftstoffunterbrechungsbetriebs auf "1" gesetzt. Dieser Zeitzähler ist ebenfalls als herunterzählender Zeitzähler ausgebildet und wird während des Kraftstoffunterbrechungsbetriebs gesetzt und nach Beendigung der Kraftstoffunterbrechung gestartet.

- Wenn eine der Antworten auf die Fragen der Schritte S506 und S509 bis S512 positiv (JA) ist, oder wenn beide Antworten auf die Fragen der Schritte S507 und S508 positiv (JA) sind, wird im Schritt S520 bestimmt, daß die Maschine sich im schwach ansprechenden F/B-Bereich befindet, gefolgt vom Beenden des Programms. Wenn die Antwort auf die Frage aus Schritt S512 negativ (NEIN) ist, schreitet das Programm zu einem Schritt S550 vor.

- Im Schritt S550 wird bestimmt, ob eine Fehlzündung in der Maschine aufgetreten ist oder nicht. Das Auftreten einer Fehlzündung in der Maschine kann bestimmt werden, wenn die Änderung der Maschinendrehzahl NE über einem vorbestimmten Wert liegt, wie in der durch den vorliegenden Anmelder eingereichten japanischen offengelegten Patentveröffentlichung (Kokai) Nr. 6-146998 offenbart. Wenn die Maschine unter dem Einfluß einer Fehlzündung steht, schreitet das Programm zum Schritt S520 vor, wohingegen, wenn die Maschine nicht unter dem Einfluß einer Fehlzündung steht, schreitet das Programm zu einem Schritt S513 vor.

- Im Schritt S513 wird bestimmt, ob ein Wechsel der Ventilzeitsteuerung zwischen der Hochgeschwindigkeits V/T und der Niedriggeschwindigkeits V/T angewiesen wurde. Wenn kein Wechsel angewiesen wurde, wird in einem Schritt S514 bestimmt, ob die Zündzeitsteuerung der Maschine stark verzögert wurde. Wenn die Zündzeitsteuerung nicht stark verzögert wurde, schreitet das Programm zu einem Schritt S516 vor. Wenn entweder die Antwort auf die Frage des Schritts S613 oder die Antwort auf die Frage des Schritts S514 positiv (JA) ist, wird ein herunterzählender Zeitzähler tmKCMDCHNG auf eine vorbestimmte Zeitperiode TCHNG gesetzt und in einem Schritt S515 gestartet, gefolgt vom Fortsetzen des Programms im Schritt S520. Der vorbestimmte Zeitraum TCHNG wird auf einen Zeitraum gesetzt, welcher ausreichend dafür ist, daß die Verbrennung in der Maschine nachdem der Wechsel der Ventilzeitsteuerung angewiesen wurde oder nachdem die Zündzeitsteuerung stark verzögert wurde stabil wird.

- Im Schritt S516 wird bestimmt, ob der Zählerwert des herunterzählenden Zählers tmKCMDCHNG ungleich "0" ist oder nicht. Wenn der Zählerwert ungleich "0" ist, schreitet das Programm zum Schritt S520 vor, wohingegen, wenn der Zählerwert gleich "0" ist, wird in Schritten S517 und S518 bestimmt, ob das Istäquivalenzverhältnis KACT innerhalb eines vorbestimmten Bereichs liegt oder nicht, welcher durch einen vorbestimmten unteren Grenzwert KACTLMTL (beispielsweise 0,99) und einen vorbestimmten oberen Grenzwert KACTLMTH (beispielsweise 1,01) eingegrenzt ist. Wenn $KACT < KACTLMTL$ oder $KACT > KACTLMTH$ ist, schreitet das Programm zum Schritt S520, wohingegen, wenn $KACTLMTL \leq KACT \leq KACTLMTH$ ist, schreitet das Programm zu einem Schritt S519, in welchem bestimmt wird, daß sich die Maschine im hochansprechenden F/B-Bereich befindet, gefolgt vom Beenden des Programms.

- Durch Ausführen der Schritte S517 und S518 wird, nur wenn das Istäquivalenzverhältnis KACT gleich 1,0 oder einem dazu nahen Wert ist, ein Wechsel der Regelung von der schwach ansprechenden Regelung zur hochansprechenden Regelung durchgeführt, um dadurch ein sanftes Wechseln des Regelungsmodus zu erreichen und damit die erforderliche Stabilität der Kraftstoff-Verhältnisregelung/steuerung sicherzustellen. Der Grund, warum somit durch die Schritte S506 bis S516 bestimmt wird, daß die schwach ansprechende Regelung ausgeführt werden sollte, ist der folgende:

- Wenn die Maschinen-Kühlmittel-Temperatur TW klein ist ($TW < TWSTRON$), ist die Maschinenverbrennung aufgrund ungenügender Zerstäubung von Kraftstoff und vergrößerter Reibung zwischen dem Kolben und dem Zylinder nicht stabil, so daß eine Fehlzündung auftreten kann. Deshalb kann kein stabiler Wert des erfaßten Äquivalenzverhältnisses KACT erhalten werden, wenn die hochansprechende Regelung in einem derartigen Zustand ausgeführt wird. Auch wenn die Maschinen-Kühlmittel-Temperatur TW extrem hoch ($TW \geq TWSTROFF$) und gleichzeitig die Einlaßlufttemperatur extrem hoch ($TA \geq TASTROFF$) ist, kann Dampfblaseinschluß in der Kraftstoffversorgungsleitung auftreten, um die augenblickliche Kraftstoffeinspritzmenge zu verkleinern. Wenn die Maschinendrehzahl NE hoch ist, d. h. wenn $NE \geq NESTRLMT$ ist, kann die ECU 5 eine

ungenügende Berechnungszeit aufweisen und ferner ist die Maschinenverbrennung nicht stabil.

Ferner, wenn die Maschine im Leerlauf ist, ist der Maschinenbetriebszustand weitestgehend stabil, so daß es nicht erforderlich ist, daß die hochansprechende Regelung, welche eine hohe Verstärkung aufweist, auszuführen. Unmittelbar nach Beenden der Traktionskontrolle, in welcher die Zündzeitsteuerung vorübergehend stark verzögert oder eine Kraftstoffunterbrechung bewirkt wird, um das Maschinendrehmoment zu verringern, um übermäßigen Schlupf der Räder zu vermeiden, ist die Maschinenverbrennung vor Verstreichen einer vorbestimmten Zeitperiode nach Beendigung der Traktionskontrolle nicht stabil, so daß eine Ausführung der hochansprechenden Regelung unerwarteterweise in einem Anstieg der Veränderung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses resultieren kann. Aus einem ähnlichen Grund wird unmittelbar nach Beenden eines gewöhnlichen verzögerten Kraftstoffzufuhrbetriebs die schwach ansprechende Regelung ausgewählt. Ähnlich ist dann, wenn in der Maschine eine Fehlzündung auftritt, die Maschinenverbrennung zweifellos instabil, so daß die schwach ansprechende Regelung ausgewählt wird. Ferner ändert sich vor Verstreichen einer vorbestimmten Zeitperiode (TCHNG) nach Wechseln der Ventilzeitsteuerung der Verbrennungszustand der Maschine drastisch aufgrund einer Veränderung in der Ventilöffnungsduauer, über welche die Einlaß- und Auslaßventile geöffnet sind. Auch vor Verstreichen der vorbestimmten Zeitperiode TCHNG nach Beendigung der Regelung der Zündzeitsteuerung zu einer stark verzögerten Zeitsteuerung ist die Maschinenverbrennung nicht stabil und es kann kein stabiler KACT-Wert erwartet werden.

Zusätzlich zur Traktionskontrolle kann eine starke Verzögerung der Zündzeitsteuerung bei der Ausführung anderer Steuerungs-/Regelungarten durchgeführt werden, wie beispielsweise eine Steuerung/Regelung die einen plötzlichen Drehmomentwechsel (Drehmomentruck) reduziert, welche ausgeführt wird, wenn das Automatikgetriebe einen Wechsel der Gangstellungsposition erfährt, bei einer Klopf-vermeidenden Steuerung/Regelung, welche ausgeführt wird, wenn die Last der Maschine hoch ist, bei einer Zündzeitsteuerung/regelung, welche zum Zweck der Beschleunigung des Temperaturanstiegs der Katalysatoren unmittelbar nach Starten der Maschine oder ähnlichen Gelegenheiten ausgeführt wird.

Als nächstes wird die hochansprechende bzw. schwach ansprechende Regelung beschrieben werden, welche bei dem Steuerungs-/Regelungssystem gemäß der vorliegenden Erfundung ausgeführt wird.

Fig. 17 zeigt eine Unteroutine zum Durchführen der hochansprechenden Regelung, welche im Schritt S408 in Fig. 14 ausgeführt wird. Zunächst wird im Schritt S601 bestimmt, ob ein Flag FKSTR in der unmittelbar vorangehenden Schleife "0" angenommen hat, welches Flag dann, wenn es auf "1" gesetzt ist, anzeigt, daß die Maschine in einem Bereich arbeitet, in welchem die Regelung durch Verwendung des Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten KSTR ausgeführt werden sollte (nachfolgend als "der Adaptiv-Regelungsbereich" bezeichnet). Wenn das Flag KSTR in der letzten Schleife "1" angenommen hat, springt das Programm zu einem Schritt S603, in welchem der Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizient KSTR in der oben beschriebenen Weise berechnet wird, und dann wird das Flag FKSTR in einem Schritt S604 auf "1" gesetzt, gefolgt vom Beenden des Programms.

Andererseits, wenn das Flag FKSTR in der letzten Schleife "0" angenommen hat, wird der Adaptivparameter b0 (skalare Größe, welche die Verstärkung bestimmt) durch einen Wert ersetzt, welcher dadurch erhalten wird, daß der b0-Wert durch den letzten KLA(k-1)-Wert des PID-Korrekturkoeffizienten KLA(k) in einem Schritt S602 dividiert wird, gefolgt durch Fortsetzen des Programmes im Schritt S603.

Durch Ersetzen des Adaptivparameters b0 durch den Wert b0/KLA(k-1) im Schritt S602 kann ein weiterer sanfter Wechsel von der PID-Regelung zur Adaptivregelung erreicht werden, um dadurch die erforderliche Stabilität der Regelung sicherzustellen. Der Grund für das Durchführen des Ersetzens ist der folgende: Wenn der Wert b0 in der Gleichung (31) durch den Wert b0/KLA(k-1) ersetzt wird, erhält man folgende Gleichung (32), in welcher der erste Term der ersten Gleichung gleich "1" ist, da der Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizient KSTR während der Ausführung der PID-Regelung auf 1 gesetzt ist und auf 1 gehalten wird (KSTR(k) = 1). Entsprechend wird der Wert KSTR(k) beim Start der Adaptivregelung gleich dem Wert KLA(k-1), was in einem sanften Wechsel der Korrekturkoeffizienten resultiert:

$$\begin{aligned} \text{KSTR}(k) &= [[\text{KCMD}(k-4xd') - s_0 \times \text{KACT}(k) - r_1 \times \text{KSTR}(k-4) - r_2 \times \text{KSTR}(k-8) - r_3 \times \text{KSTR}(k-12)]/b_0] \\ &\quad \times \text{KLA}(k-1) = 1 \times \text{KLA}(k-1) = \text{KLA}(k-1) \quad (32) \end{aligned}$$

Fig. 18 zeigt eine im Schritt S411 aus der Fig. 14-Unteroutine ausgeführte Unteroutine zur Durchführung der schwach ansprechenden Regelung. Zunächst wird in einem Schritt S621 bestimmt, ob das STR-Flag FKSTR in der letzten Schleife "1" angenommen hat oder nicht. Wenn in der letzten Schleife FKSTR = 0, springt das Programm zu einem Schritt S623, in welchem der PID-Korrekturkoeffizient KLA(k) durch Ausführen der Fig. 12-Unteroutine berechnet wird. Dann wird das Flag FKSTR in einem Schritt S624 auf "0" gesetzt und das Programm schreitet zu einem Schritt S625, in welchem der Rückkopplungs-Korrekturkoeffizient KFB auf den PID-Korrekturkoeffizienten KLA(k) gesetzt wird, welcher im Schritt S623 berechnet wird, gefolgt vom Beenden des vorliegenden Programmes.

Andererseits wird dann, wenn in der letzten Schleife FKSTR = 1 ist, in einem Schritt S622 der unmittelbar vorangehende Wert KLA(k-1) des integralen Terms der PID-Regelung auf den unmittelbar vorangehenden Wert KSTR(k-1) des Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten KSTR gesetzt, gefolgt von der Fortsetzung des Programms im Schritt S623.

Wenn ein Wechsel von der Adaptivregelung zur PID-Regelung durchgeführt wird (wenn in der unmittelbar vorangehenden Schleife FKSTR = 1 ist und die Maschine sich in der gegenwärtigen Schleife im niedrigansprechenden F/B-Bereich befindet) besteht die Möglichkeit einer starken Änderung des Integralterms KLA(k) der PID-Regelung. Deshalb wird der Schritt S622 durchgeführt, um KLA(k-1) = KSTR(k-1) zu setzen. Dies kann die Differenz zwischen dem Adaptiv-Regelungs-Korrekturkoeffizienten KSTR(k-1) und dem PID-Kor-

rekturkoeffizienten K_{LAF} (k) herabsetzen, wodurch ein sanfter Wechsel von der Adaptivregelung zu der PID-Regelung durchgeführt werden kann, um dadurch die erforderliche Stabilität der Maschinensteuerung/re-geling sicherzustellen.

Infolge der durchgeföhrten Operationen der Unterrouinen gemäß den Fig. 14 bis 18 wird, solange wie sich die

- 5 Maschine in keinem stabilen Zustand befindet, die Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerung/Regelung von der Adaptivregelung zur PID-Regelung gewechselt, wodurch ausreichende Genauigkeit und Stabilität der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerung/Regelung sichergestellt werden kann, selbst wenn sich die Maschine nicht in einem stabilen Betriebszustand befindet, um dadurch ausgezeichnete Antriebseigenschaften und Abgasemis-sionscharakteristika der Maschine aufrechtzuerhalten.
- 10 Es sollte angemerkt werden, daß im vorliegenden Ausführungsbeispiel der STR als ein Beispiel der Rekursionsformeltyp-Regeleinheit eingesetzt wird, daß es allerdings möglich ist, ein Modellreferenzadaptiv-Steue-rungs-/Regelungssystem (MRACS) anstelle des STRs einzusetzen.

Ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem für eine Brennkraftmaschine 1 mit einer Mehrzahl von Zylindern und einem Abgassystem. Das Luft-Kraftstoff-Verhältnis von von den Zylindern emittierten Abgasen wird durch einen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 17 erfaßt, welcher im Abgassystem angeordnet ist. Das Luft-Kraftstoff-Verhältnis eines jeden der Zylinder zugeführten Gemisches wird auf Grundlage einer Ausgabe von Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 17 unter Verwendung einer Überwachungseinheit B11 zum Überwachen eines internen Betriebszustands des Abgassystems mittels eines Modells geschätzt, welches ein Verhalten des Abgassystems wiedergibt. Eine Regelung einer jeden der Zylinder zuzuführenden Kraftstoffmen-ge wird in Antwort auf die Ausgabe vom Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensor unter Verwendung eines Reglers eines Rekursionsformeltyps durchgeföhr, so daß das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des jedem der Zylinder zuge-führten Gemisches sich einem Sollwert nähert. Der Regler des Rekursionsformeltyps stellt Adaptivparameter zur Verwendung in der Regelung ein für jeden der Zylinder auf der Grundlage des geschätzten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses.

25

Patentansprüche

1. Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem für eine Brennkraftmaschine (1) mit einer Mehrzahl von Zylindern und einem Abgassystem (15, 16, 19, 20), wobei das Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem umfaßt:
 - im Abgassystem (15, 16, 19, 20) angeordnete Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Erfassungsmittel (17) zum Erfassen eines Luft-Kraftstoff-Verhältnisses von von den Zylindern emittierten Abgasen;
 - zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Schätzmittel zum Schätzen eines Luft-Kraftstoff-Verhältnisses eines jedem der Zylinder zugeführten Gemisches auf der Grundlage einer Ausgabe der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Erfassungsmittel (17) unter Verwendung von Überwachungsmitteln (B11) zum Überwachen eines internen Betriebszustands des Abgassystems (15, 16, 19, 20) mittels eines Modells, welches ein Verhalten des Abgassystems (15, 16, 19, 20) wiedergibt; und
 - Regelungsmittel (Fig. 8) zum Durchführen einer Regelung einer jedem der Zylinder zuzuführenden Kraftstoffmenge (TOUT(N)) in Antwort auf die Ausgabe von den Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Erfas-sungsmitteln (17) unter Verwendung einer Rekursionsformeltyp-Regeleinheit, derart, daß das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des jedem der Zylinder zugeführten Gemisches einem Sollwert (KCMD) angenähert wird, wobei
 - die Rekursionsformeltyp-Regeleinheit Parametereinstellmittel zum Einstellen von Adaptivparama-tern zur Verwendung in der Regelung aufweist, wobei die Parametereinstellmittel die Adaptivparame-ter für jeden der Zylinder auf Grundlage des durch die zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnisschätz-mittel geschätzten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses einstellen.
2. Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Rekursionsformeltyp-Regeleinheit einen Adaptiv-Korrekturkoeffizienten (KStR) als Regelgröße der Rege-lung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses für jeden Zylinder berechnet, in Antwort auf das durch die zylinder-weise Luft-Kraftstoff-Verhältnisschätzmittel geschätzte Luft-Kraftstoff-Verhältnis, wobei die Parameter-einstellmittel die Adaptivparameter für jeden der Zylinder auf Grundlage des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses einstellen, welches durch die zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnisschätzmittel geschätzt wurde und auf Grundlage des Adaptiv-Korrekturkoeffizienten (KSTR), welcher für jeden der Zylinder durch die Regelein-heit berechnet wurde und nach Maßgabe des durch die zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnisschätzmit-tel geschätzten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses berechnet wurde.
3. Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeich-net, daß die Regelungsmittel den Sollwert des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses des Gemisches für jeden der Zylinder berechnen, und die Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses des jedem der Zylinder zugeführ-ten Gemisches unter Verwendung des berechneten Sollwerts zusammen mit dem Luft-Kraftstoff-Verhältnis durchführen, welches durch die zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnisschätzmittel nach Maßgabe des Sollwerts geschätzt wurde.
4. Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-Regelungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zylinderweise Luft-Kraftstoff-Verhältnisschätzmittel das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des jedem der Zy-linder zugeführten Gemisches unter Verwendung einer Zeitkonstante (DL) der Ansprechverzögerung der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Erfassungsmittel (17) abschätzen.
5. Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Maschine (1) einen Einlaßkanal (11) aufweist, wobei das Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Rege-lungssystem Druck-Erfassungsmittel (10) aufweist, welche in dem Einlaßkanal (11) zum Erfassen des Einlaß-

DE 197 37 840 A1

kanal-Innendrucks (PBA) angeordnet sind, wobei das Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem Maschinendrehzahl-Erfassungsmittel zum Erfassen einer Maschinendrehzahl (NE) umfaßt, wobei die Zeitkonstante (DL) nach Maßgabe der Maschinendrehzahl (NE) und des Einlaßkanal-Innendrucks (PBA) festgesetzt wird.

6. Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Steuerungs-/Regelungssystem nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch zweite Regelungsmittel zum Regeln der jedem der Zylinder zugeführten Kraftstoffmenge ($T_{OUT}(N)$) in einer Rückkopplungsweise in Antwort auf die Ausgabe der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Erfassungsmittel (17) mit einer Ansprechgeschwindigkeit, welche geringer ist als eine Ansprechgeschwindigkeit der Regelungsmittel zum Durchführen der Regelung unter Verwendung der Rekursionsformeltyp-Regeleinheit in einer derartigen Weise, daß das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des jedem der Zylinder zugeführten Gemisches einem Sollwert angenähert wird, und Auswahlmittel zum Auswählen eines der Regelungsmittel zum Durchführen der Regelung unter Verwendung der Rekursionsformeltyp-Regeleinheit und der zweiten Regelungsmittel in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen der Maschine.

Hierzu 16 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

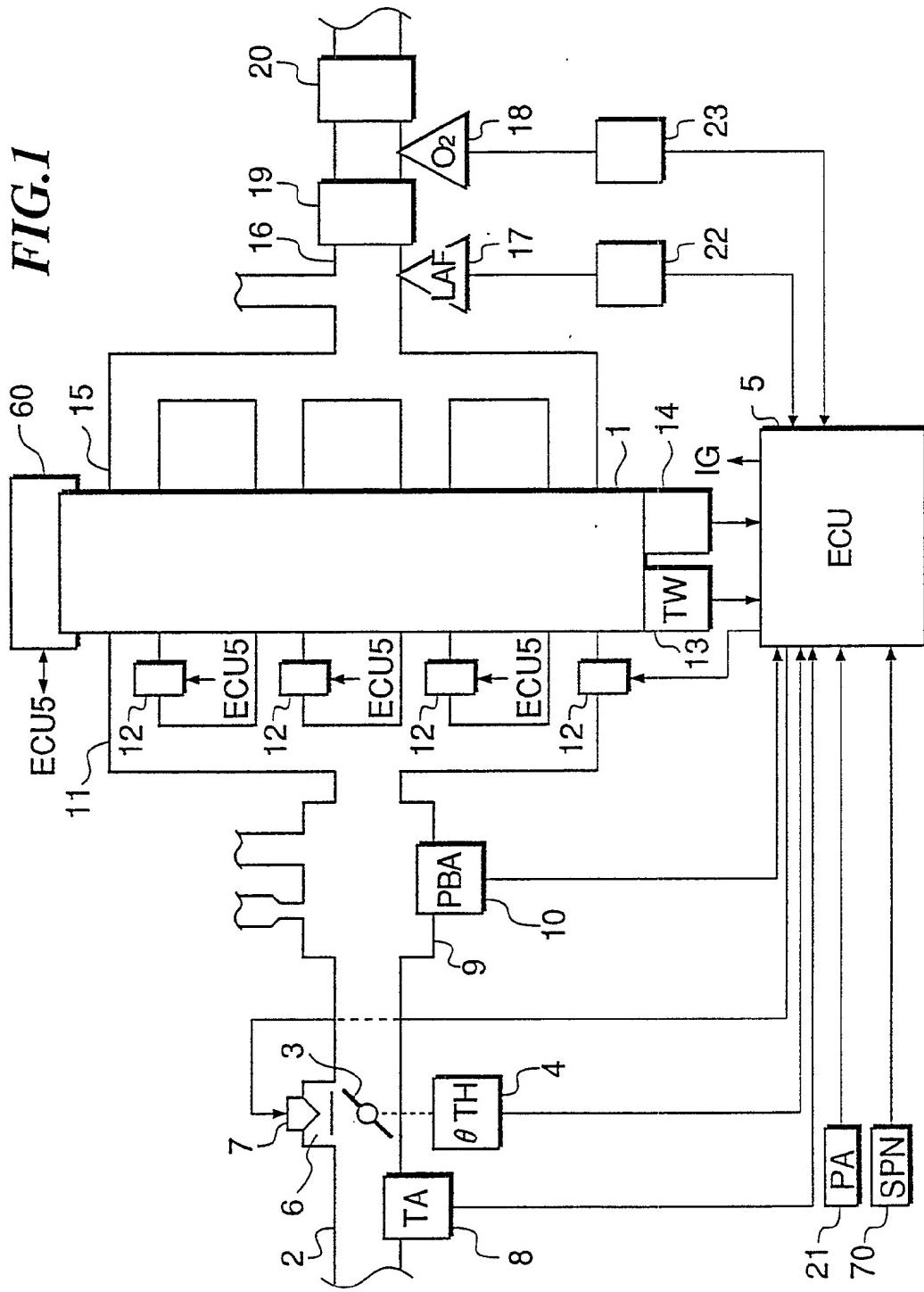


FIG.2

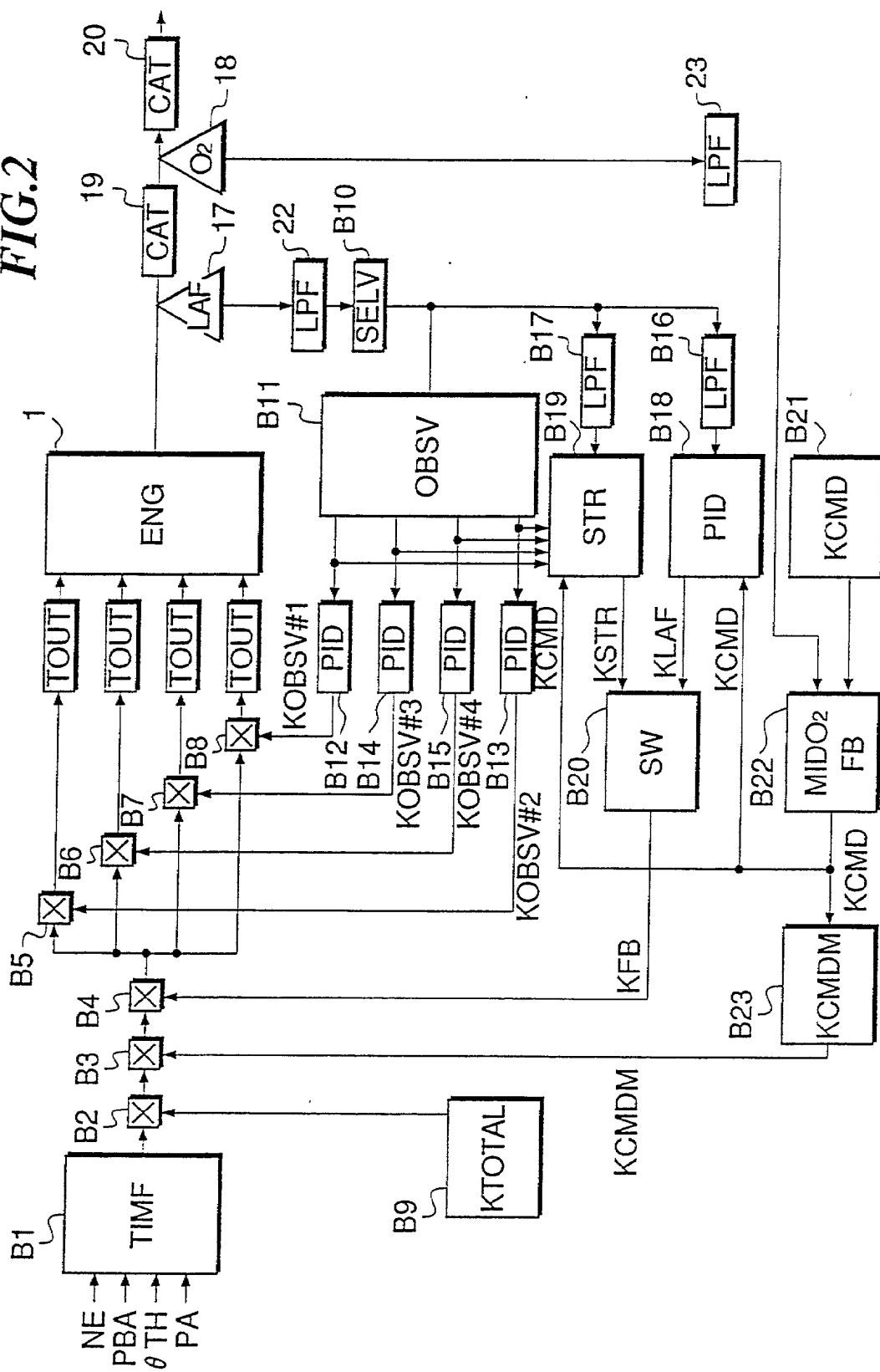


FIG.3

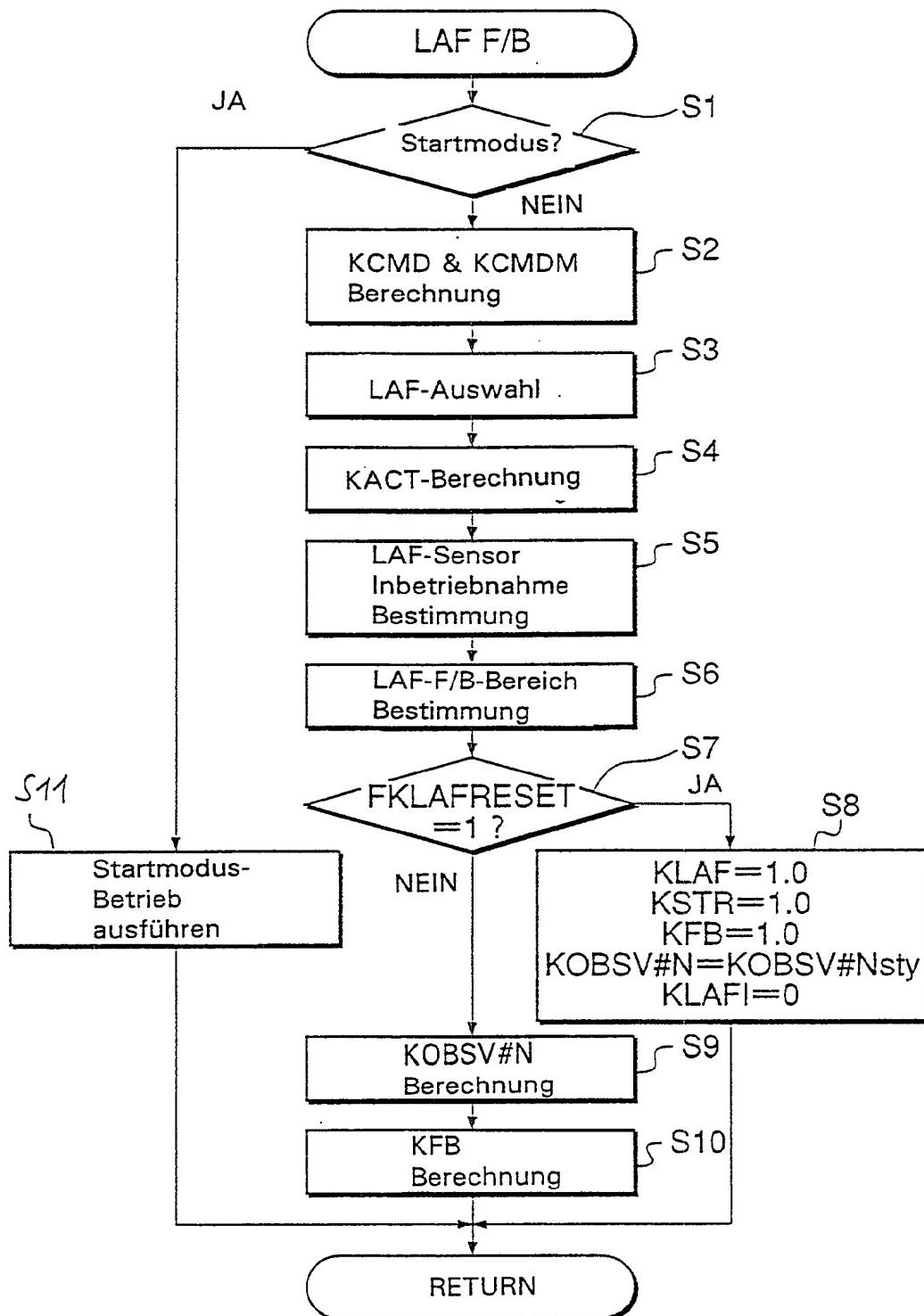


FIG.4

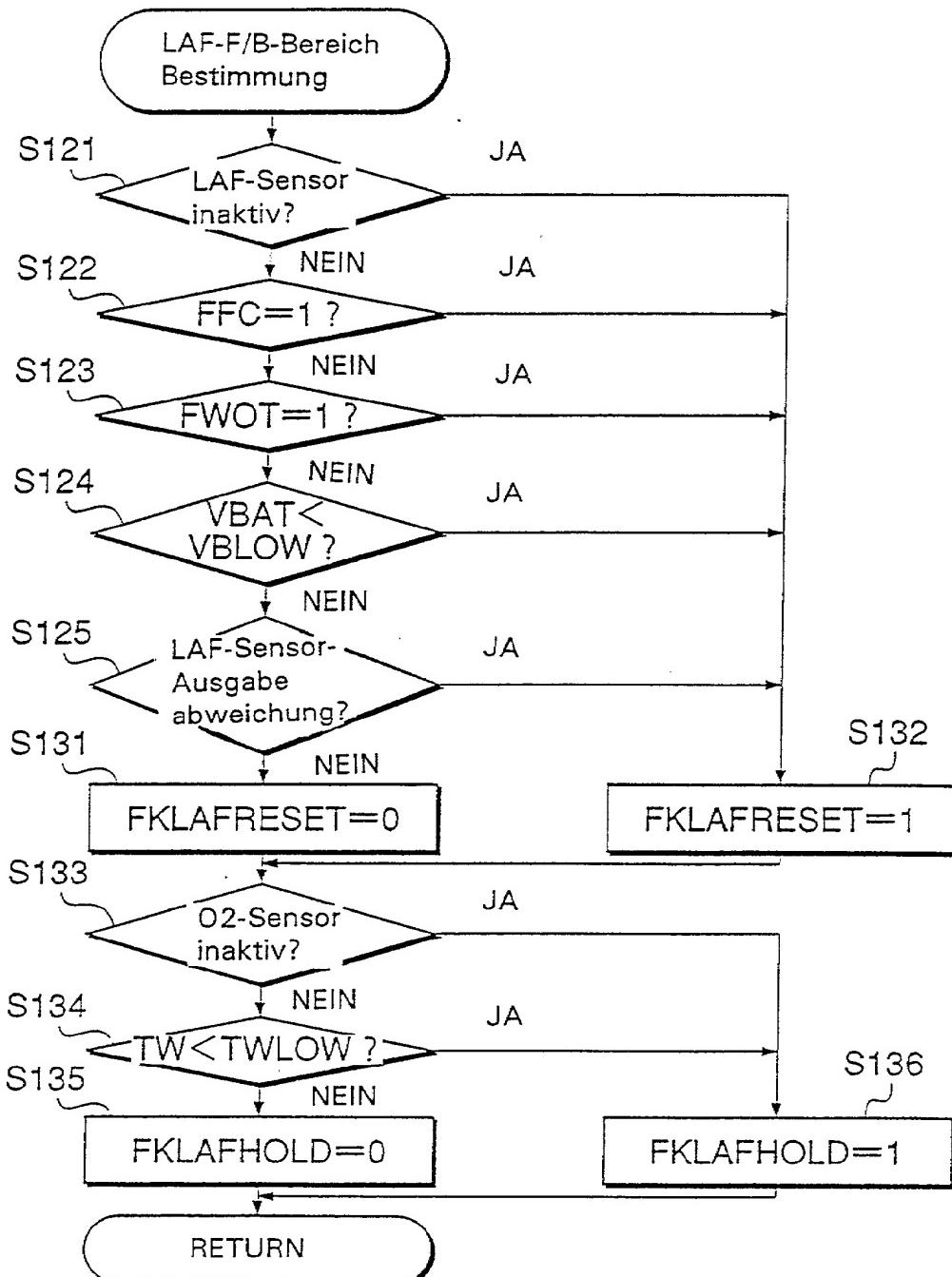


FIG.5

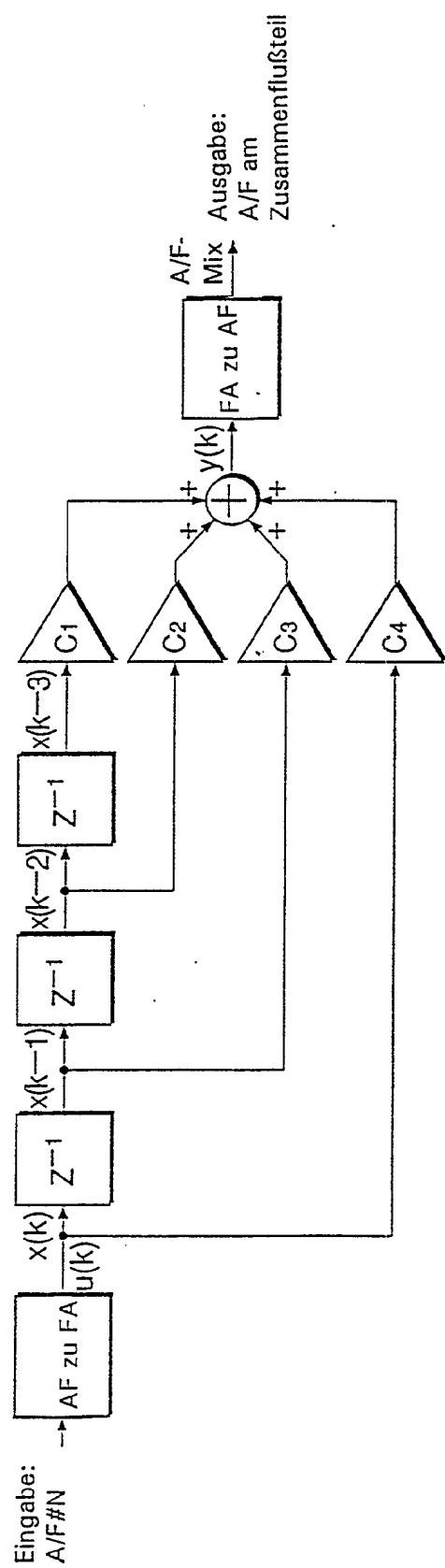


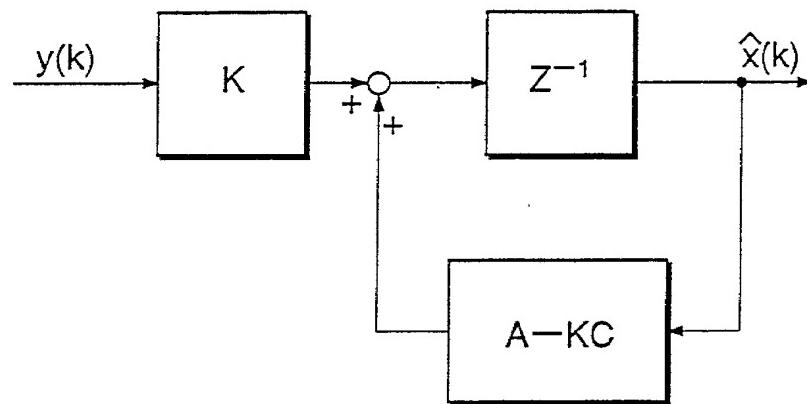
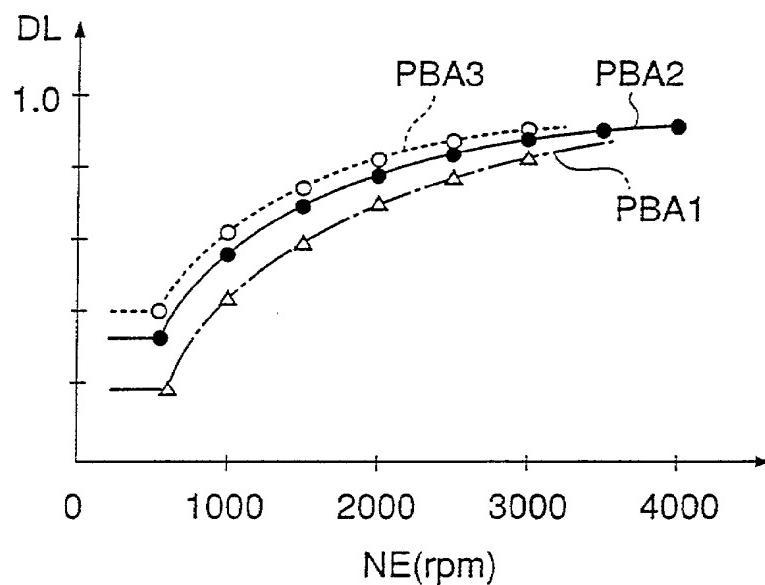
FIG.6***FIG.7***

FIG. 8

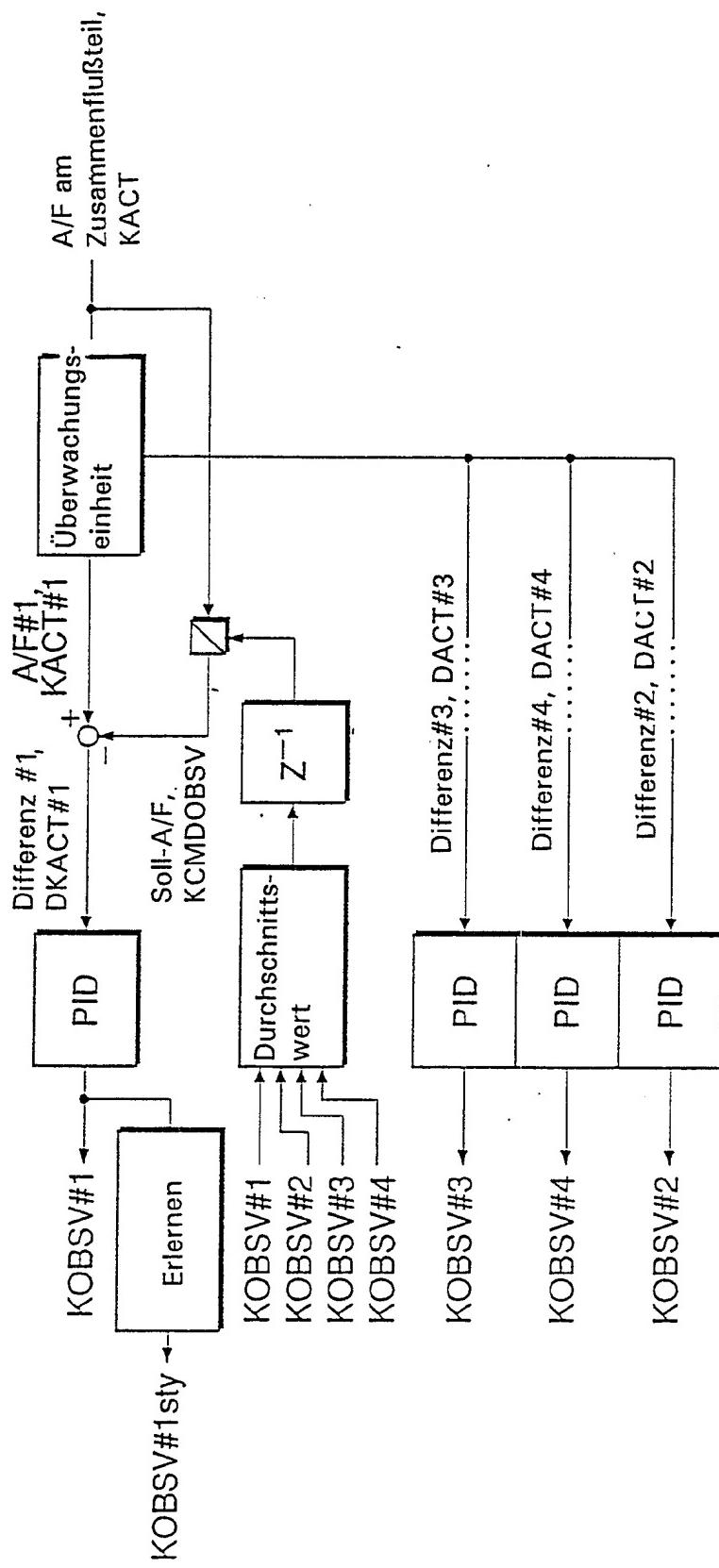


FIG.9

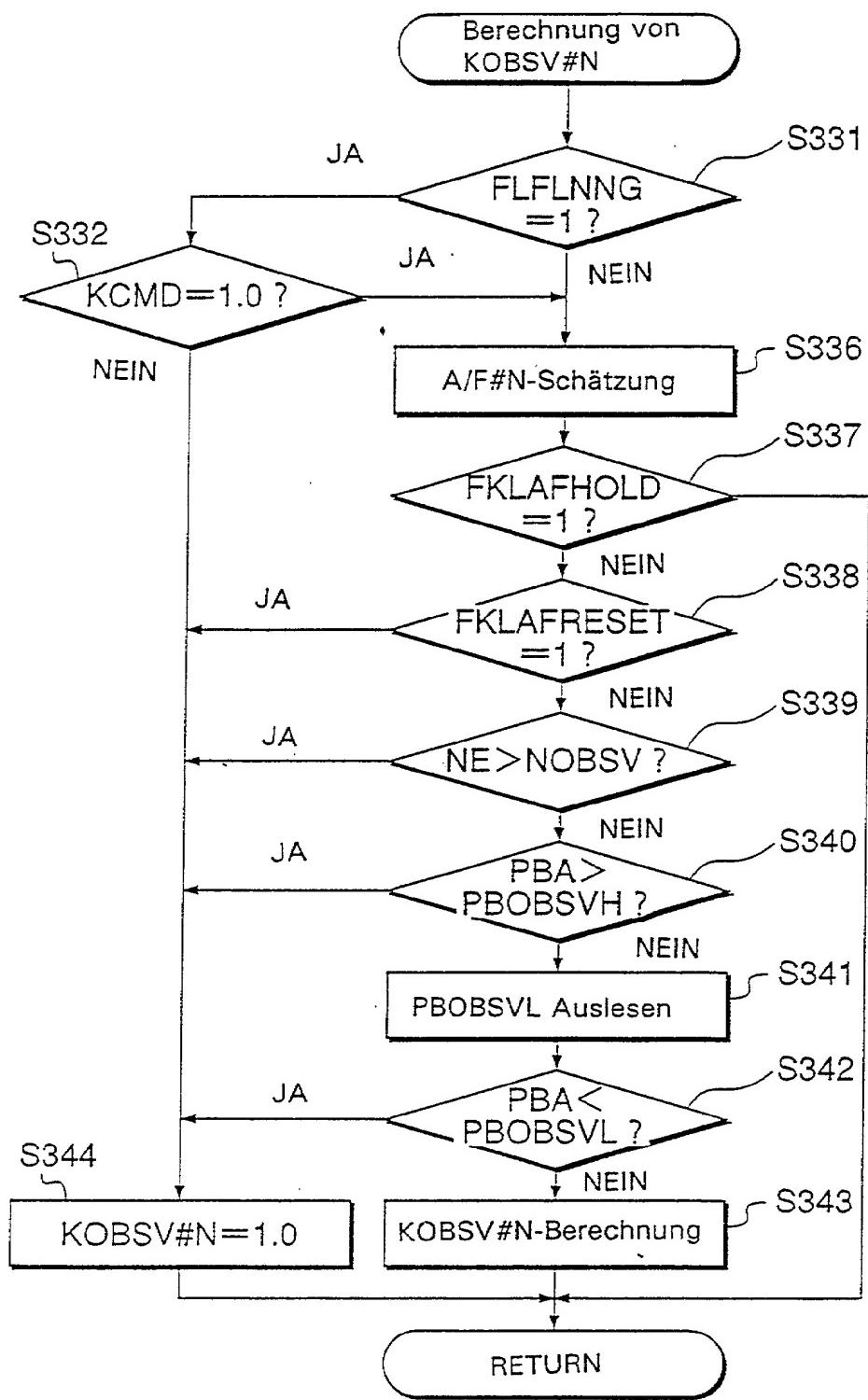


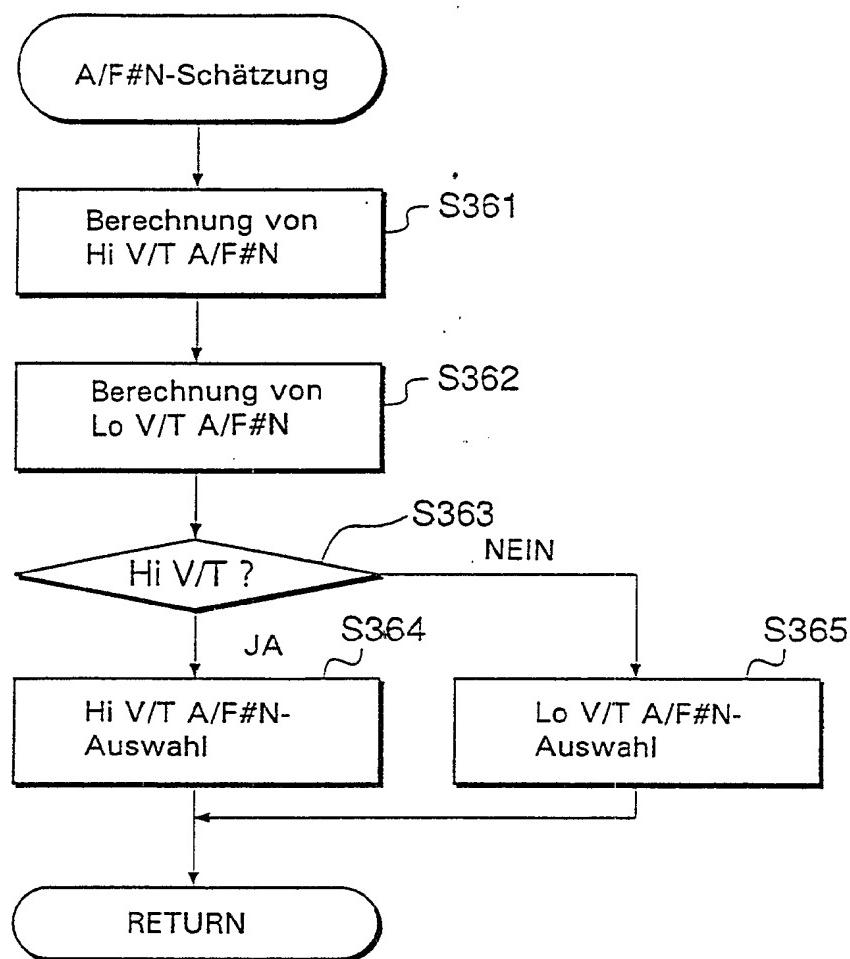
FIG.10

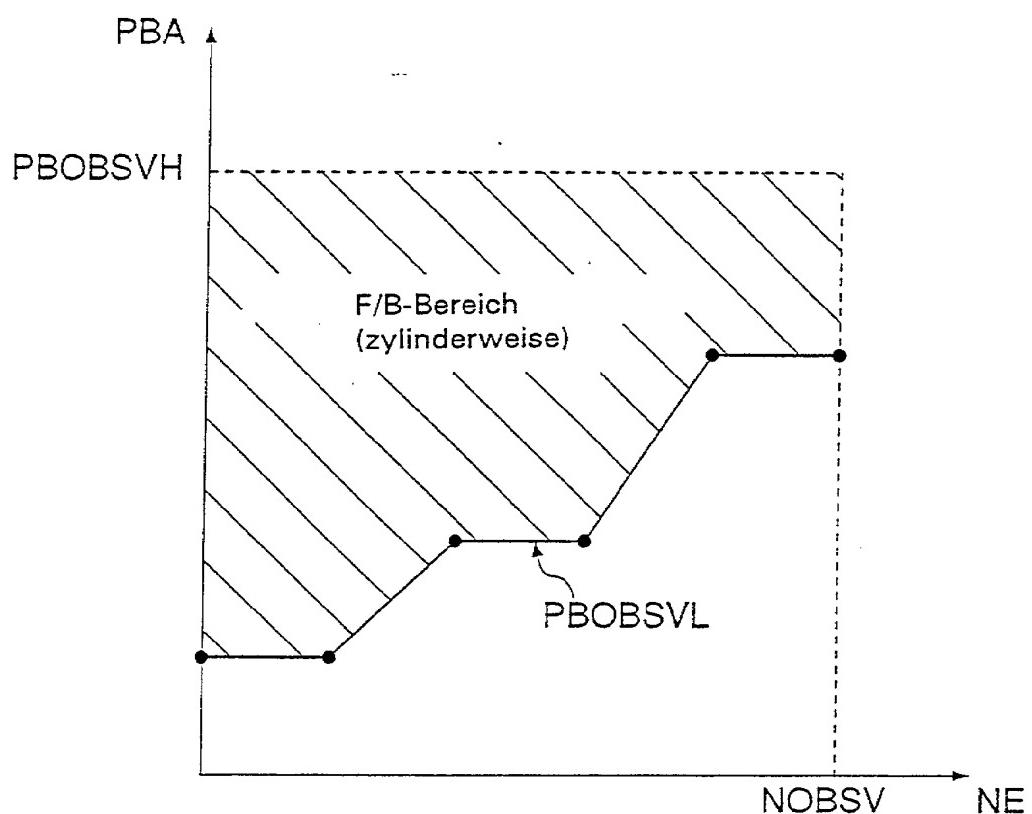
FIG.11

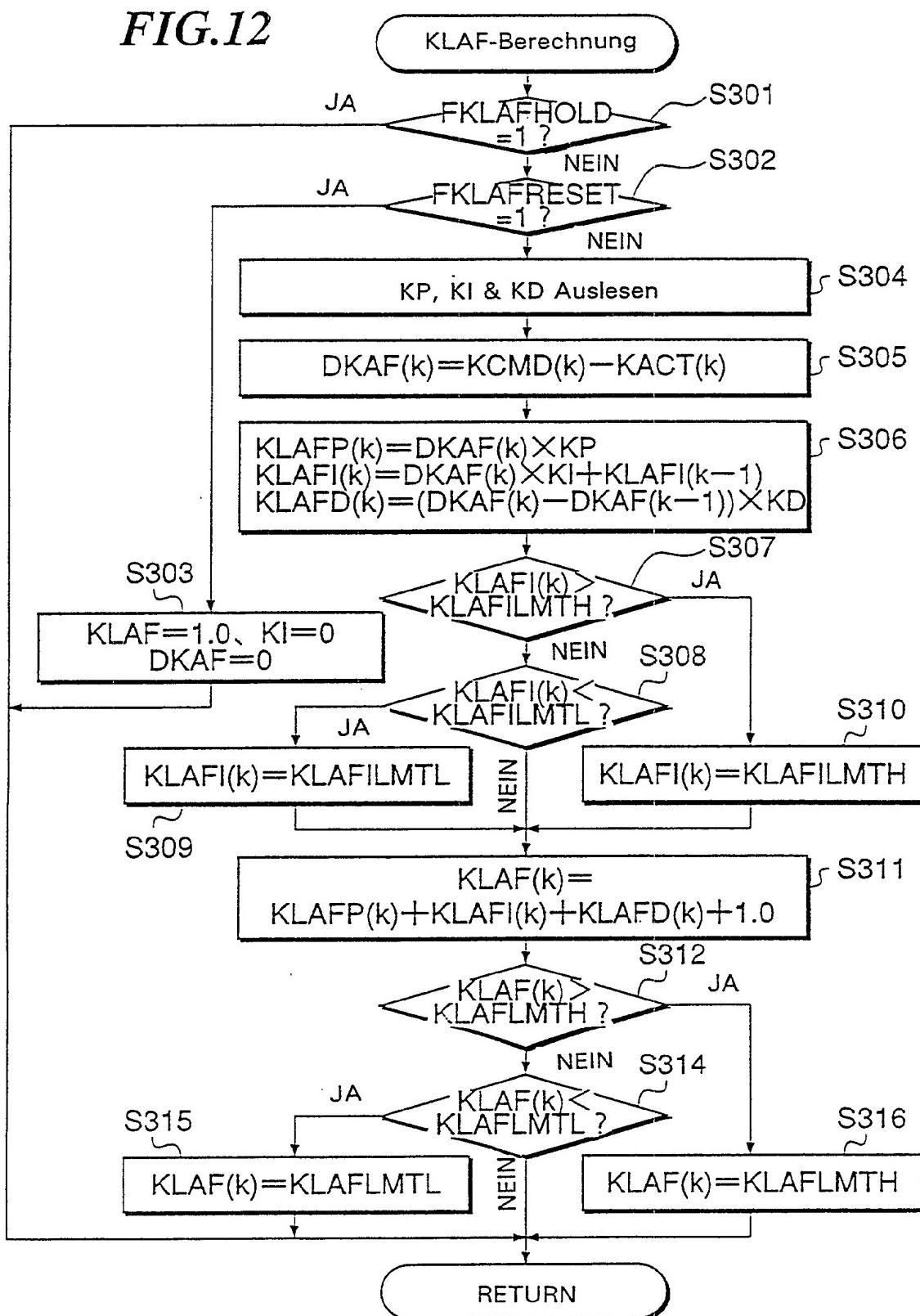
FIG.12

FIG.13

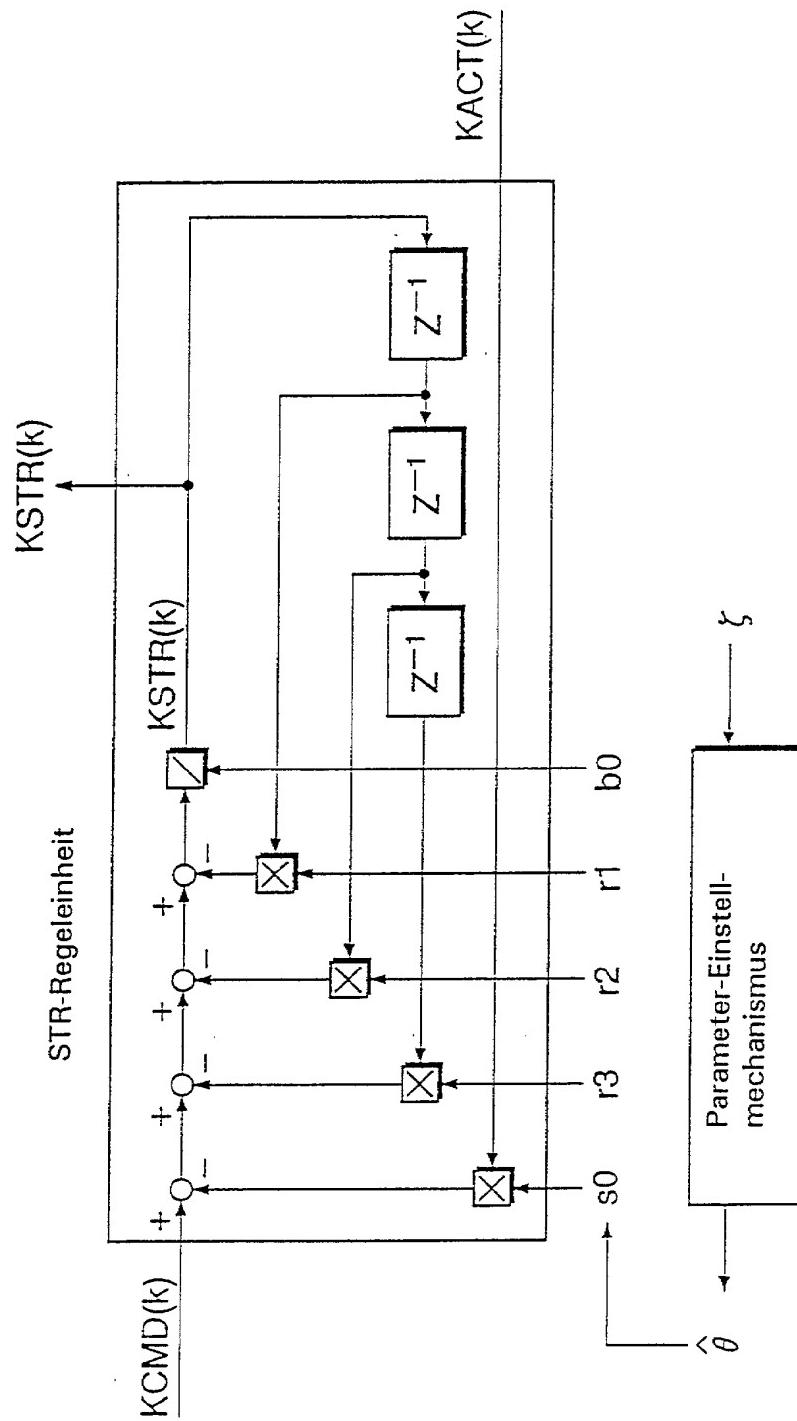


FIG.14

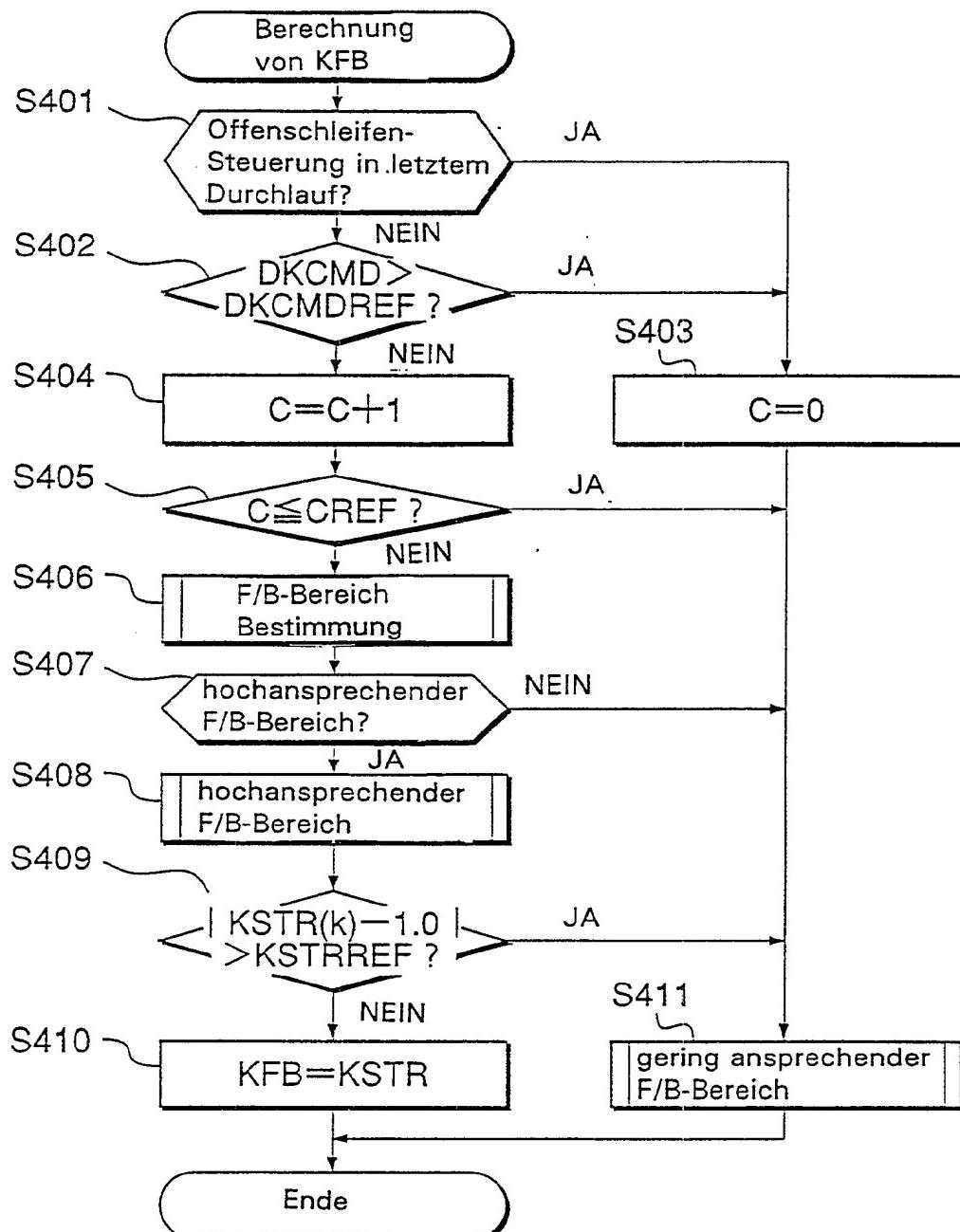


FIG.15

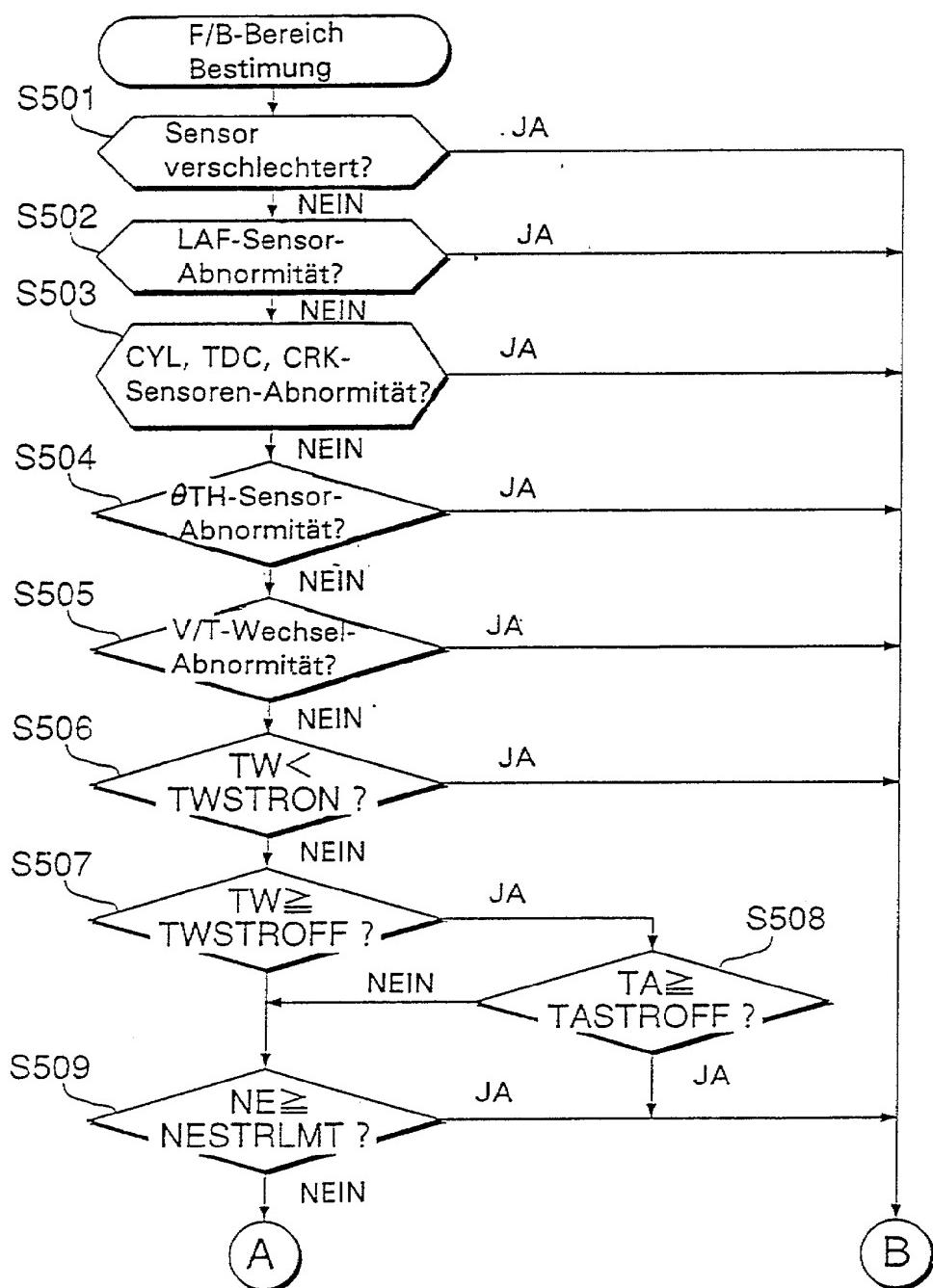


FIG.16

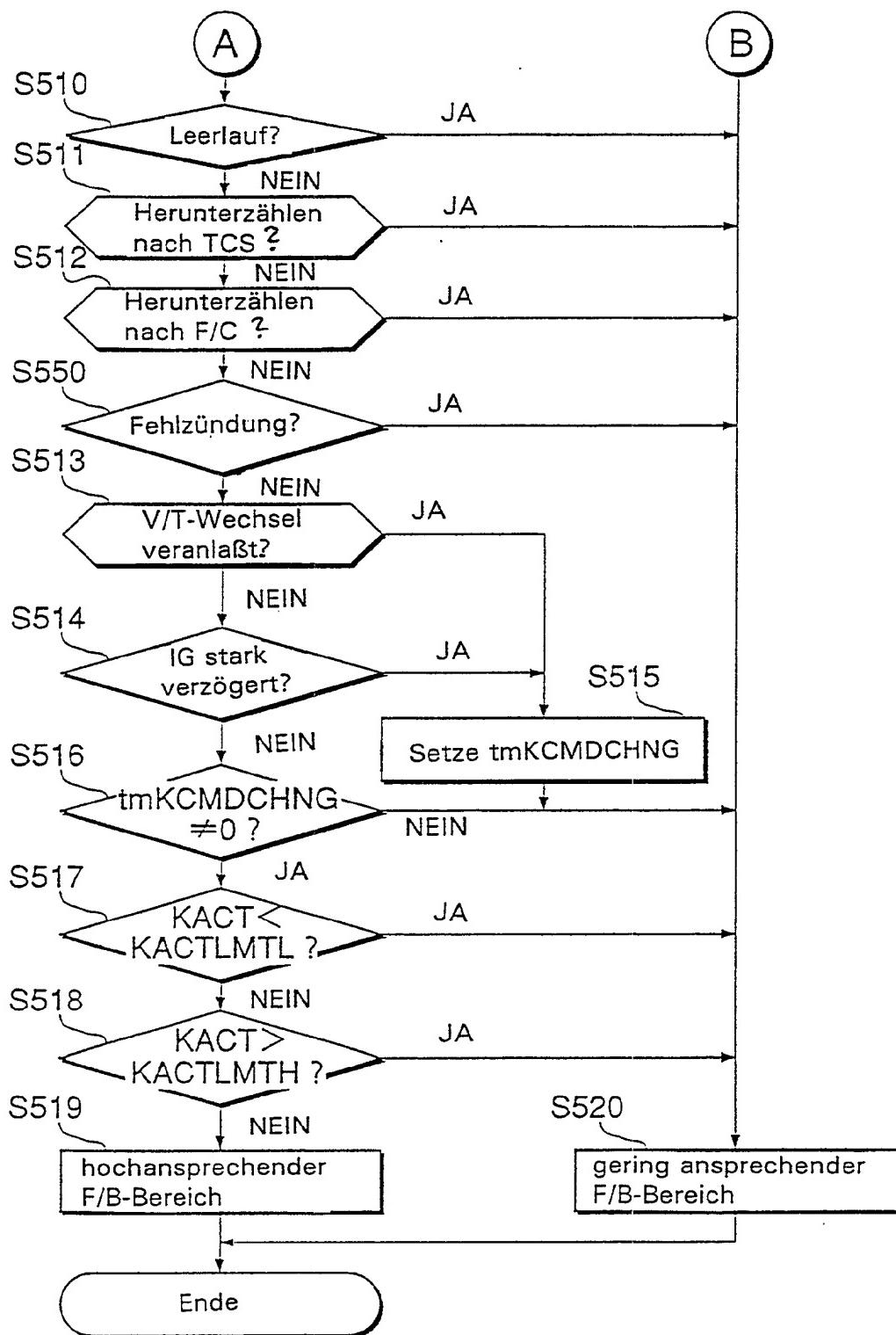
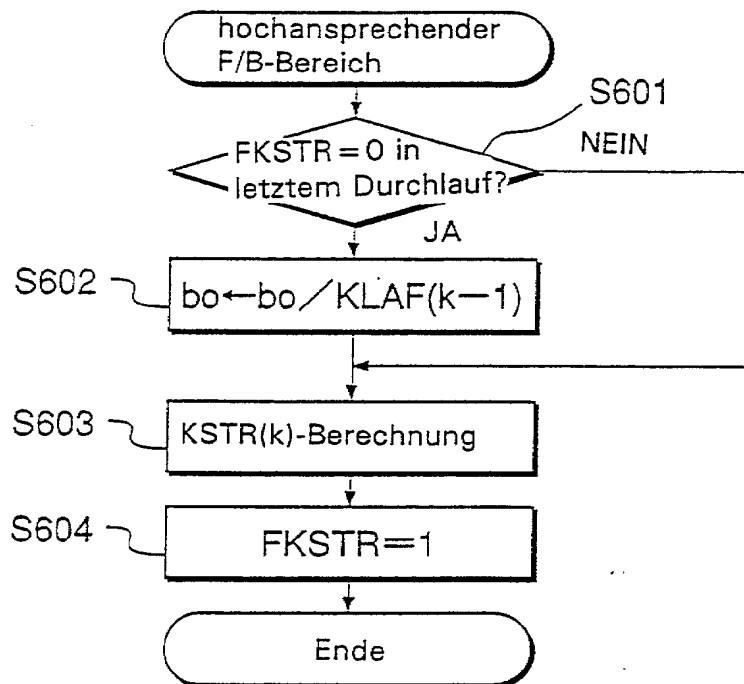


FIG.17***FIG.18***